

Pirjo Saarinen

# Paahtoprofiilin ja kahvilaadun vaikutus kahvin akryyliamidipitoisuuteen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja elintarviketekniikka

Insinöörityö

6.2.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Pirjo Saarinen Paahtoprofiilin ja kahvilaadun vaikutus kahvin akryyliamidipitoisuuteen 39 sivua + 5 liitettä 6.2.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	bio- ja elintarviketekniikka
Ammatillinen pääaine	elintarviketekniikka
Ohjaajat	NPD Manager Hanna Talvioja Lehtori Eija Koriseva Lehtori Pia-Tuulia Laine
<p>Tämä työ tehtiin Oy Gustav Paulig Ab:n toimeksiantona. Työssä tutkittiin, miten vaa-leapahtoisen kahvin paahtoparametrien muuttaminen vaikuttaa paahtetun kahvin akryyliamidipitoisuuteen sekä kahvin fysikaalisiin ja aistinvaraisiin ominaisuuksiin. Akryyliamidipitoisuus pyrittiin saamaan EU:n vertailuarvon (400 µg/kg) alapuolelle, niin ettei kahvin aistinvaraisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin tulisi merkittäviä tuotantokahvista poikkeavia muutoksia. Työn tavoitteena oli validoida yrityksen aiemman tutkimuksen ennustemalli, jonka mukaan kahvin akryyliamidipitoisuuteen voidaan vaikuttaa paahtoprofiilia ja paahton loppulämpötilaa muuttamalla.</p> <p>Työssä paahtettiin teollisuuskokoluokan paahtimella kuiva- ja märkäkäsiteltyjä Arabica-papuja kolmella eri paahtoprofiililla ja kolmeen eri loppulämpötilaan. Kaikista paahtoeristä mitattiin kosteus, tilavuus ja paahtoväri. Paahtoerien akryyliamidipitoisuudet analysoitiin ulkoisessa laboratoriossa. Tuloksille tehtiin tilastollinen analyysi yleisellä lineaarisella mallilla. Yrityksen laajennettu ammattilaisraati (N = 5–7) teki kolmitestit paahtoerien pavuista valmistetuille kahviuomille.</p> <p>Kahvin akryyliamidipitoisuus riippui tilastollisesti merkitsevästi (<math>p &lt; 0,05</math>) raakakahvin laadusta, paahtoprofiilista, loppulämpötilan muutoksesta ja raakakahvin laadun sekä loppulämpötilan muutoksen yhteisvaikutuksesta. Kuivakäsitellyssä kahvissa muodostui vähemmän akryyliamidia kuin märkäkäsitellyssä, mikä poikkesi yrityksen aiemman tutkimuksen ennustemallista. Muokattaessa paahtoprofiilia pidemmäksi vaikuttamatta paahtoväriin saatiin akryyliamidipitoisuus pieneneään. Loppulämpötilan kasvattaminen eli paahtoväriin tummentaminen pienensi myös akryyliamidin määrää.</p> <p>Koeajo paketoituksi kahvijauheeksi asti tehtiin paahtoprofiililla, joka oli noin 20 % normaalia tuotantoprofiilia pidempi. Koe-erän kahvi oli noin yhden yksikön L*-asteikolla tummempaa kuin tuotantokahvi loppulämpötilan nostamisen vuoksi. Koekahvin akryyliamidipitoisuus oli EU:n vertailuarvon alapuolella, eikä sen flavorissa havaittu aistinvaraisesti eroa tuotantokahviin merkitsevyystasolla <math>\alpha = 0,05</math>. Koska paketoitua kahvijauhetta tehtiin vain yksi koe-erä, pitkän aikavälin muutokset kahvin laadussa ja fysikaalisissa ominaisuuksissa ovat ennalta arvaamattomia ja edellyttävät lisätutkimuksia.</p>	
Avainsanat	akryyliamidi, kahvi, kahvin paahto, paahtoväri

Author Title Number of Pages Date	Pirjo Saarinen Effect of the profile of roasting and the quality of coffee on acrylamide concentration in coffee 39 pages + 5 appendices 6 February 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Food Engineering
Professional Major	Food Engineering
Instructors	Hanna Talvioja, NPD Manager Eija Koriseva, Senior Lecturer Pia-Tuulia Laine, Senior Lecturer
<p>This thesis was made for Oy Gustav Paulig Ab. It was examined how changes in the roasting parameters of light roasted coffee affects the concentration of acrylamide in roasted coffee and the coffee's physical and sensory quality. The concentration of acrylamide was aimed under the EU benchmark level (400 µg/kg) so that there would not be any significant differences in coffee's physical and sensory quality compared to the production coffee. The aim of this thesis was to validate prediction pattern of the company's previous study that says that changing the roasting profile and the final temperature of roasting has an effect on the acrylamide concentration of coffee.</p> <p>In this study dry and wet processed Arabica-beans were roasted with industrial size roasting machine using three different roasting profiles and to three different final temperature. Moisture content, volume and roasting color were measured from every batch and acrylamide concentration was analysed by an independent laboratory. The results were analysed statistically with a general linear model. The company's extended professional jury (N = 5–7) performed triangle tests for the coffee drinks that were made of the roasted beans.</p> <p>This study shows statistically significant correlation (<math>p &lt; 0,05</math>) between coffee's acrylamide concentration and the quality of green coffee; the profile of roasting; the variety of final temperature; and the cooperative action of green coffee and the variety of temperature. In the dry processed coffee less acrylamide was formed compared to the wet processed coffee, and this result differed from the prediction pattern of the company's previous study. The concentration of acrylamide was reduced when the roasting profile was longer, but the roasting color remained constant. The acrylamide concentration was also reduced when the final temperature of the roast was higher so that the roasting color would be darker.</p> <p>In the end, packed and grounded coffee was made with a 20 % longer roasting profile than the normal production coffee. Due to increasing the final temperature of the roast, the sample lot's coffee was about one unit darker in L*-scale compared to the production coffee. The acrylamide concentration of the sample coffee was below the EU benchmark level and there was no difference in its flavor compared to the production coffee at a significance level of <math>\alpha = 0,05</math>. Only one batch of packed and grounded coffee was made, and due to that reason long-term changes in coffee's quality and physical properties are unpredictable and therefore requires more research.</p>	
Keywords	acrylamide, coffee, roasting of coffee, roasting color

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Pavusta paahdetuksi kahviksi	2
2.1	Kahvi raaka-aineena	2
2.2	Paahtoprosessi	4
2.3	Paahdossa tapahtuvat fysikaaliset muutokset	6
2.4	Kahvin flavori	8
3	Akryyliamidi	10
3.1	Akryyliamidi kahvissa	10
3.2	EU:n lainsäädäntö	11
3.3	Akryyliamidin muodostuminen	13
3.4	Määrään vaikuttavat tekijät	14
4	Materiaalit ja menetelmät	16
4.1	Raakakahvi	16
4.2	Esikokeet ja paahtoprofiilit	16
4.3	Paahtokokeet	17
4.4	Mittausmenetelmät	19
4.5	Aistinvaraiset erotustestit	20
4.6	Koeajo paketoituksi kahvijauheeksi	21
5	Tulokset ja niiden tarkastelu	22
5.1	Yleistä koeasetelmasta	22
5.2	Paahdetun kahvin kosteus	22
5.3	Kahvin paahtoväri	23
5.4	Paahdetun kahvin tilavuus	24
5.5	Kahvin akryyliamidipitoisuus	27
5.6	Paahtokokeiden kolmitestit	32
5.7	Paketoitu kahvijauhe	33
6	Yhteenveto	35
	Lähteet	37
	Liitteet	

Liite 1. Kolmitestin vastauslomake EyeQuestion-ohjelmassa

Liite 2. Paahtokokeiden tulokset

Liite 3. Yleinen lineaarinen malli, vasteena paahtoväri

Liite 4. Yleinen lineaarinen malli, vasteena tilavuus

Liite 5. Yleinen lineaarinen malli, vasteena akryyliamidipitoisuus

## 1 Johdanto

Ruotsalaiset tutkijat löysivät akryyliamidia ensimmäistä kertaa kypsennetyistä tärkkelyspitoisista ruuista vuonna 2002. Sen jälkeen lukuisten tutkijoiden mielenkiinto akryyliamidia ja sen muodostumisprosessia kohtaan on lisääntynyt. Akryyliamidi on todettu eläin- ja solukokeissa neurotoksiseksi ja karsinogeeniseksi. Ihmisille se on luokiteltu mahdollisesti syöpää aiheuttavaksi yhdisteeksi. (1.)

Aikuisväestön suurin akryyliamidin lähde ovat paistetut perunatuotteet, leivät ja leipomotuotteet sekä kahvi. Pohjoismaissa juodaan kahvia huomattavasti enemmän kuin muualla maailmassa, minkä vuoksi esimerkiksi Ruotsissa ruokavalioperäisen akryyliamidin suurin yksittäinen lähde on kahvi. Vaaleapaahtoisessa kahvissa on tutkitusti enemmän akryyliamidia kuin tummapaahtoisessa kahvissa, mikä asettaa pohjoismaalaiset vaaleapaahtoisen kahvin ystävät riskiryhmään. (1; 2.)

EU:n viranomaiset ovat viime vuosina ottaneet voimakkaasti kantaa siihen, että akryyliamidin määrä riskielintarvikkeissa on saatava laskemaan. Euroopan komissiossa tuli joulukuussa 2017 voimaan uusi asetus, jota aletaan soveltaa jäsenvaltioissa huhtikuusta 2018 lähtien. Asetuksen mukaan elintarvikealan toimijoiden on otettava käyttöön vähentämistoimenpiteitä, joiden tarkoituksena on tunnistaa ne elintarvikkeiden tuotantovaiheet, joissa akryyliamidia saattaa muodostua. Vähentämistoimenpiteiden avulla pitäisi riskielintarvikkeiden akryyliamidipitoisuus saada niin paljon asetuksessa vahvistettuja vertailuarvoja pienemmäksi, kuin on kohtuudella mahdollista. Asetuksessa on määriteltä akryyliamidin vertailuarvoksi paahdetussa kahvissa 400 µg/kg. (3.)

Tämä insinööritö tehtiin Oy Gustav Paulig Ab:n toimeksiantona. Oy Gustav Paulig Ab on Suomen suurin kahvitalo ja vastuullinen perheyhtiö. Insinööritöyön tavoitteena oli löytää vaaleapaahtoiselle kahville sellaiset paahtoparametrit, että akryyliamidin pitoisuus pysyisi mahdollisimman paljon EU:n vertailuarvon alapuolella. Muutettaessa paahtoparametreja kahvin aistinvaraisten ja fysikaalisten ominaisuuksien tulisi pysyä muuttumattomana, jotta kuluttajat eivät havaitsisi kahvin laadullisissa ominaisuuksissa eroa aikaisempaan eikä kahvijauheen pakkautuvuuteen tulisi tuotannollisia ongelmia. Kahvin paahtamiseen liittyvien parametrien (mm. lämpötila ja paahto aika) muuttaminen on

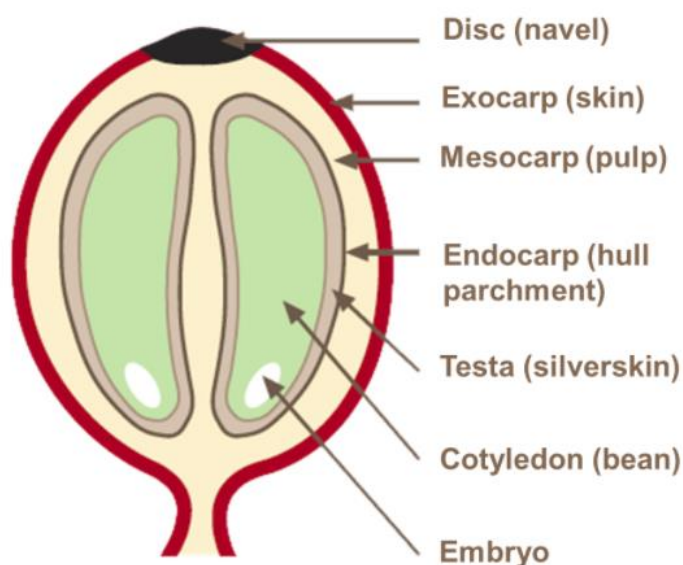
haastavaa, koska paahtoprofiili vaikuttaa suoraan myös kahvin aistinvaraisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin. Kuluttajat ovat tarkkoja siitä, että kahvin flavori ja väri eivät muutu, joten kahvitalon on pysyttävä asetettujen laatuspesifikaatioiden sisällä.

Työ on suoraa jatkoa yrityksen aiemmalle, sisäiseen käyttöön tarkoitetulle julkaisemattomalle tutkimukselle. Tutkimuksesta saatiin ennustemalli, jonka mukaan kahvin paahtoprofiilin muuttaminen pidemmäksi vaikuttamatta kahvin paahtoväriin pienentää akryyliamidipitoisuuksia. Paahton loppulämpötilan kasvattaminen, mikä tummensi kahvin paahtoväriä, pienensi tutkimuksen mukaan myös akryyliamidin määrää. Tässä insinöörityössä pyrittiin validoimaan nämä aiemmat tulokset.

## **2 Pavusta paahdetuksi kahviksi**

### **2.1 Kahvi raaka-aineena**

Kaupallisesti saatavilla olevat kahvit jaetaan perinteisesti kolmeen eri luokkaan: miedot Arabica-kahvit, monipuoliset brasilialaiset Arabica-kahvit ja täyteläiset Robusta-kahvit. Vihreitä kahvipapuja käsitellään tavallisemmin kahdella eri käsittelymenetelmällä, joita ovat märkä- ja kuivakäsittely. Robusta-kahveja ja brasilialaisia Arabica-kahveja käsitellään kuivamenetelmällä menetelmän yksinkertaisuuden vuoksi ja muita Arabica-kahveja märkämenetelmällä. (4.) Viime vuosikymmenien aikana Brasiliassa, Indonesiassa ja Keski-Amerikassa ovat yleistyneet myös nk. hybridimenetelmät, joissa on yhdistetty kahden perinteisen käsittelymenetelmän tapoja (5, s. 34–37). Kaikkien käsittelymenetelmien tarkoituksena on poistaa kahvimarjoissa oleva kuori ja hedelmäliha, jolloin jäljelle jää ainoastaan marjan sisällä olevat kaksi kahvipapua. Kuvassa 1 on esitetty kahvimarjan poikkileikkaus.



Kuva 1. Kahvimarjan poikkileikkaus. Kahvipapujen (*bean*) pinnalla on ohut ulomainen kuori-kerros (*silverskin*). Pergamentti (*endocarp*) pitää pavut erillään hedelmälihasta. Mesokarppi (*pulp*) on hedelmän makea sokerikerros. (6.)

Kuivakäsittelymenetelmässä kahvimarjat kuivataan välittömästi viljelyn jälkeen. Kuivakäsittely on menetelmänä hyvin yksinkertainen ja halpa, ja se mahdollistaa kahvimarjojen koneellisen poimimisen, jolloin koko kahvisato korjataan samalla kertaa marjojen kypsyysasteesta välittämättä. Joillakin kahviloilla sato pestään ja kypsät marjat erotellaan muusta sadosta ennen kuivausta. Marjat voidaan kuivata luonnollisesti levittämällä ne ohueksi kerrokseksi ulos ja antamalla auringon kuivattaa ne. Tällä tavalla marjojen kuivaamiseen haluttuun (noin 12 %) kosteuteen kuluu aikaa sääolosuhteiden mukaan noin 3–4 viikkoa. Huomattavasti nopeampaa ja vähemmän työvoimaa vaativampaa on kuivata marjat kuivureissa, joissa lämpötilaa ja kuivausilman kosteutta voidaan säätää. (7.)

Märkäkäsittelymenetelmällä kahvipavuille voidaan taata tasaisempi ja korkeampi laatu. Menetelmän käytön vaatimuksena on tarvittavat laitteistot ja runsaan puhtaan veden saanti. Märkäkäsittelyä voidaan käyttää ainoastaan kypsille kahvimarjoille ja sen suurin ero kuivakäsittelyyn verrattuna on marjojen uloimmaisten osien poisto ennen kuivausta. Tällä tavalla saadaan vähennettyä herkün kuivausvaiheen virhemahdollisuuksia. Käsittelyn ensimmäisessä vaiheessa marjat pestään, minkä jälkeen niistä poistetaan uloin kuori (*exocarp* kuvassa 1) ja osa hedelmälihaa (*outer mesocarp*) kuorimakoneiden avulla. Seuraava vaihe märkäkäsittelyssä on 16–48 tuntia kestävä fermentointi. Fermen-



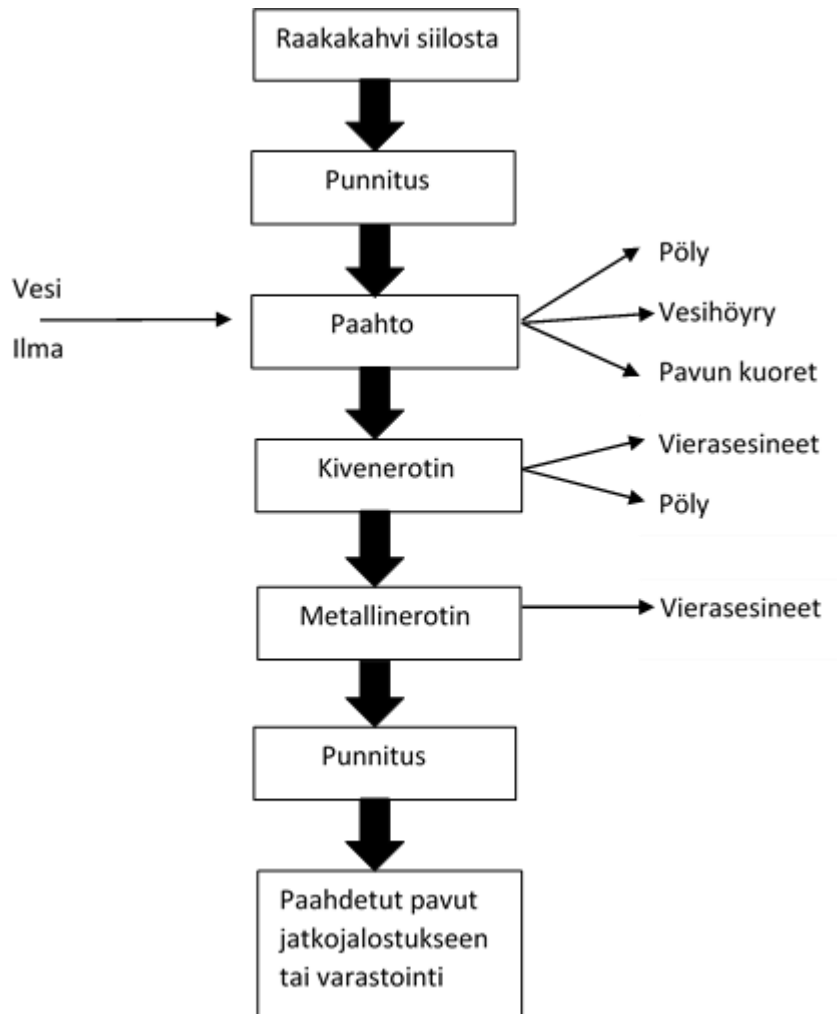
toinnissa jäljelle jäänyt hedelmäliha (*inner mesocarp*) hydrolysoituu. Pektiinien hydrolysoitumisen saa aikaan hedelmälihassa luontaisesti olevat pektinaasientsyymit, mutta erilaiset mikrobit kuten *Saccharomyces* nopeuttavat kemiallisia reaktioita. Hydrolysoitu kahvimarjan osa lähtee helposti irti papujen päältä fermentoinnin jälkeisessä pesussa, minkä jälkeen pavut kuivataan sopivaan kosteuteen (n. 11–12 %). (7.)

Brasiliassa ja useissa Keski-Amerikan maissa käytetään kahvimarjojen käsittelyyn hybridimenetelmää, jossa marjojen pesun jälkeen niistä poistetaan mekaanisesti uloin kuori ja osa hedelmälihaa kuten märkäkäsittelymenetelmässäkin. Erona märkäkäsittelyyn kuorittuja marjoja ei kuitenkaan fermentoida, vaan ne kuivataan välittömästi. Tämän menetelmän käyttö vaatii vähemmän puhdasta vettä, mutta toisaalta se altistaa kahvin suuremmille virheflavoreille kuin märkäkäsittely. Indonesiassa on käytössä puolipesumenetelmä, jossa myös poistetaan ensin marjojen uloin kuori ja osa hedelmälihaa. Puolipesumenetelmässä ei kuitenkaan tämän jälkeen kuivata marjoja haluttuun 11–12 %:n kosteuteen, vaan ainoastaan 30–35 kosteusprosenttiin. Puolimäristä marjoista kuoritaan pergamenttikerros pois ja vasta kuorinnan jälkeen ne kuivataan uudestaan lopulliseen kosteuteensa. (5, s. 34–37.)

Kuiva- ja märkäkäsittelyt tehdään kahviloilla viljelmien välittömässä läheisyydessä. Käsittelyjen jälkeen pavut kuljetetaan laitoksiin, joissa niistä kuoritaan kuivunut pergamenttikerros pois (märkäkäsitelty kahvi) tai kokonaisina kuivuneet marjat murskataan ja niistä poistetaan kuivuneet kuoret ja hedelmälihat (kuivakäsitelty kahvi). Useimmissa tapauksissa papujen uloimmainen kuorikerros (*silverskin* kuvassa 1) otetaan myös pois. Kuorittu kahvipavut lajitellaan ja varastoidaan paahtimoille kuljetusta varten. (7.)

## 2.2 Paahtoprosessi

Paahtaminen on erittäin tärkeä vaihe kahvinjalostuksessa. Paahton aikana vihreä kahvipapu muuttuu ruskeaksi, pavun rakenne muuttuu kovasta hauraaksi ja kemiallisten reaktioiden kautta muodostuu kahvin flavori. Kuvassa 2 nähdään vuokaavio kahvinjalostuksen paahtovaiheesta Oy Gustav Paulig Ab:lla.



Kuva 2. Paahtovaiheen vuokaavio Oy Gustav Paulig Ab:lla.

Teollisessa mittakaavassa tapahtuva kahvin paahtaminen voidaan tehdä useilla erilaisilla paahtokoneilla. Paahtokoneet voidaan jakaa rumpu-, leijupeti-, tangentiaalisiin ja sentrifugaalisiin paahtimiin. Eniten käytetään rumpu- ja leijupetipaahtimia. Rumpupaahtimissa metallinen rumpu pyörii liekin yläpuolella ja pavut paahtuvat liikkuessaan rumpun sisällä. Leijupetipaahtimissa paahtuminen perustuu kuumaan ilmaan, joka nostaa ja pyörittää papuja ilmapirrassa rumpupaahdinta huomattavasti lyhyemmän paahton aikana. Tangentiaaliset paahtimet ovat samankaltaisia kuin rumpupaahtimet, mutta niissä on sisäiset laipat, jotka sekoittavat papuja tasaisemmin paahton aikana. (5, s. 56–57.) Oy Gustav Paulig Ab:lla on käytössä sentrifugaalinen paahtin (Probat, Saksa). Tässä paahtimessa jokaiselle kahvilaadulle on määritetty oma reseptinsä (paahtoprofiili), millä kyseistä kahvia paahtetaan. Paahtossa säädettäviä tekijöitä ovat raakakahvin esilämmituksen määrä, paahtossa käytettävän kuumailman määrä ja lämpötila, papujen lopulämpötila sekä paahtetun kahvin jäähdytysveden määrä.

Sentrifugaalisen paahtimen toimintaperiaatteena on erissä tapahtuva, kiertävällä kuumailmalla tehtävä konvektiopaahto. Yhden paahtoerän suuruus on noin 500 kg raakakahvia. Raakakahvi esilämmitetään erillisessä esilämmitinsäiliössä ennen paahtoa, jolloin kahvipavuista erotetaan pavunkuoret (*silverskin* kuvassa 1) ja pöly. Esilämmitetty raakakahvi valuu painovoiman avulla paahtokulhoon, joka pyörii vaakatasossa. Kuuma paahtoilma (noin 450–530 °C) johdetaan kulhoon ja ilma siirtää lämpöenergiansa papuihin. Pavut osuvat kuumailmaan osittain vastavirtaan, mikä takaa tehokkaan lämmönsiirtymisen. Pyörivä paahtokulho pakottaa pavut kulhon seinämiä kohti, mistä ne sinkoavat takaisin kulhon keskiosaan ja jatkavat uudelleen matkaansa kulhon seinämiin. Paahtuminen tapahtuu ainoastaan kuumailman johdosta, eivätkä pavut kosketa kulhon seinämiä. Paahtimeen tulevaa lämpöä vähennetään asteittain paahton etenemisen myötä pienentämällä kulhoon tulevaa ilmavirtaa. Paahtovaihe päättyy paahto-ohjelman mukaiseen aika- tai lämpötilapisteeseen. Paahton lopuksi kahvi esijäähdytetään paahtokulhossa syöttämällä kulhoon kahdessa vaiheessa vettä. Varsinainen jäähdytys tapahtuu erillisessä jäähdyttimessä, jossa paahtetun kahvin joukkoon sekoitetaan ilmaa. (8.)

### 2.3 Paahtossa tapahtuvat fysikaaliset muutokset

Vaikka kahvin paahtamista on tutkittu ja kehitetty useiden vuosikymmenien ajan, niin silti uusia teknologisia sovelluksia julkaistaan vuosittain. Tähän on syynä se, että kahvin paahtaminen on teknisesti monimutkainen prosessi, missä useat muuttujat vaikuttavat toisiinsa. Lisäksi kahviin ja kahvituotteisiin liittyvät markkinat ovat valtavan suuria. Paahton ja erityisesti paahtoasteen tarkka monitoroiminen on siksi erittäin tärkeää kahviteollisuudelle. Kahvitalot eri puolilla maailmaa käyttävät erilaisia tapoja paahtetun kahvin jakamiseen paahtoasteluokkiin. Nimitykset vaaleapaahtoinen ja tummapaahtoinen kahvi kertovat sen vuoksi hyvin vähän kahvin todellisesta väristä. Oy Gustav Paulig Ab:lla on käytössä viisiportainen asteikko, jonka mukaiset kahvien värit on nähtävissä kuvassa 3.



Kuva 3. Paahtoasteluokituksen mukaiset kahvien värit.

Halutun paahtoasteen saavuttamista voidaan mitata useilla eri tavoilla, joista paahdetun kahvin ulkoinen värimittaus on ilmiselvin ja teollisuudessa käytetyin (9). Papujen paahtuessa yhä tummemmaksi ne menettävät yhä enemmän massastaan, joten suhteellisella kuivan massan menetyksellä voidaan myös mitata paahtoastetta (10, s. 75). Papujen loppulämpötilan on todettu olevan suorassa suhteessa massan menetykseen, ja nykyisissä teollisissa paahtokoneissa mitataankin juuri papujen loppulämpötilaa vaikka värimittausta ei voikaan ohittaa (11). On myös mahdollista mitata paahtossa muodostuvien haihtuvien kemiallisten yhdisteiden määrää. Ruosin ym. (9) tutkimuksessa saatiin selvä korrelaatio (korrelaatiokerroin  $r$  oli 0,9387) paahtoasteen eli kahvin värin ja haihtuvien aromikomponenttien välille. Tutkimuksessa löydettiin myös erittäin voimakas (korrelaatiokerroin  $r$  oli 0,9989) lineaarinen riippuvuus paahtoasteen ja 5-metyylifurfuraali/2-asetyylifuraanin välille. Furaanit ja furfuraalit ovat yleisesti ottaen tärkeitä yhdisteitä kahvin flavorin kannalta (12). Ruosin ym. (9) tutkimustulos antaa mahdollisuuden kehittää yhä tarkempia analysointimenetelmiä paahtoasteen mittaamiseksi, ja kahvin aromikoostumus saadaan yhä tarkemmin kontrolloitua paahton aikana.

Paahdon aikana tapahtuu värimuutoksen lisäksi myös muita fysikaalisia muutoksia. Kosteuspitoisuus pienenee (12 %:sta noin 5–2 %:iin), papujen massa pienenee (keskimäärin 15 % kokonaismassasta) ja tilavuus kasvaa (paahdetun pavun tilavuuden suhde vihreän pavun tilavuuteen on noin 1,7). Kaikki nämä muutokset liittyvät toisiinsa. Paahdotilämpötilan noustessa pavuissa oleva vesi haihtuu ja vapautuva vesi ja hiilidioksidi paisuttavat papuja. (11.) Tilavuus ja kosteus ovat tärkeitä parametreja teollisten kahvipaahtimoiden kannalta. Paahdettu ja jauhettu kahvi pakataan usein tyhjiöpakkauksiin, joissa on massaltaan tarkka määrä kahvia. Jos kahvijauheen tilavuus muuttuu, aiheuttaa se

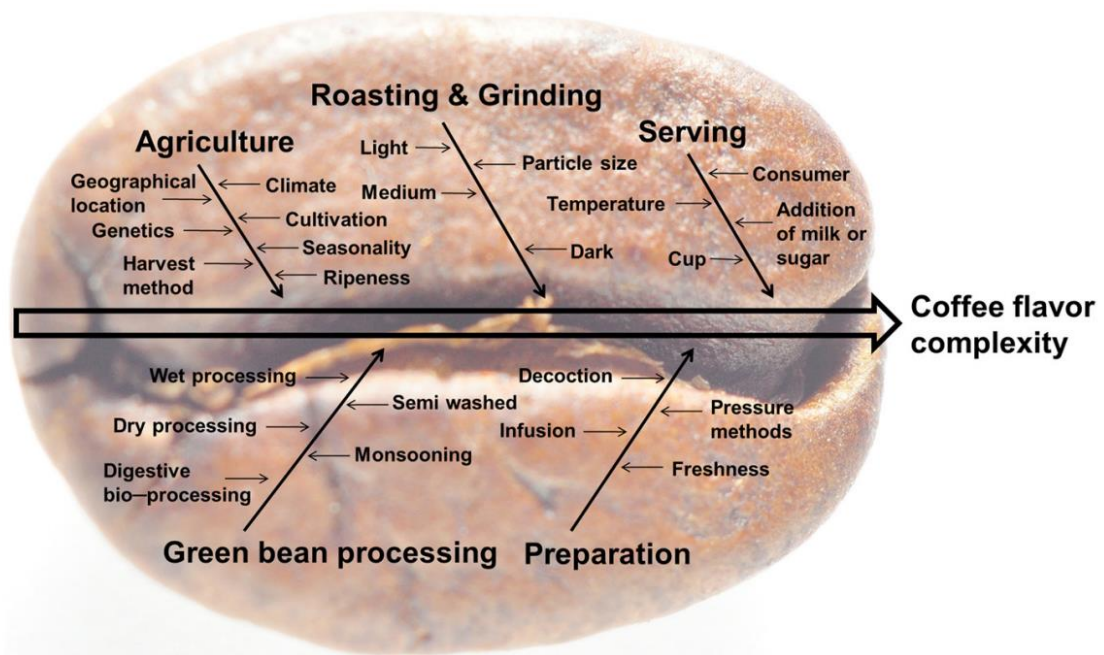
muutoksia pakkausten ulkonäköön. Tämän vuoksi on oleellista, että kahvin tilavuus pysyy pakkauskoolle asetettujen rajojen sisällä.

Vihreiden kahvipapujen kosteus vaihtelee samankin kahvilaadun sisällä paljon mm. vuodenajasta, ilmasto-olosuhteista ja säilytyksestä riippuvista tekijöistä johtuen. Myös paahdetun kahvin kosteuspitoisuus vaihtelee ja se on mitattava jokaisesta tuotantoerästä, jotta kuluttajalle pystytään takaamaan kahvin riittävä säilyvyys. Tyhjiöpakkaukseen pakattu jauhettu kahvi säilyy noin vuoden pakkaamisesta.

## 2.4 Kahvin flavori

Ruuan tai juoman flavori eli maitto koostuu yleisesti mausta, retronasaalista hajusta ja kemotunnosta (13, s. 38). Kahvin flavorin aistimisessa hajulla on ehdottomasti tärkein merkitys (12). Hajuaistimus syntyy kahdessa vaiheessa, joita kutsutaan termeillä retronasaali ja ortonasaali haju. Näistä yleensä vain ortonasaali haju mielletään hajuksi, koska se on hengitysilman kautta saatu hajuaistimus. Retronasaali hajuaistimus syntyy, kun juomaa nieltäessä siitä irtoa haihtuvia yhdisteitä. (13, s. 29–30.)

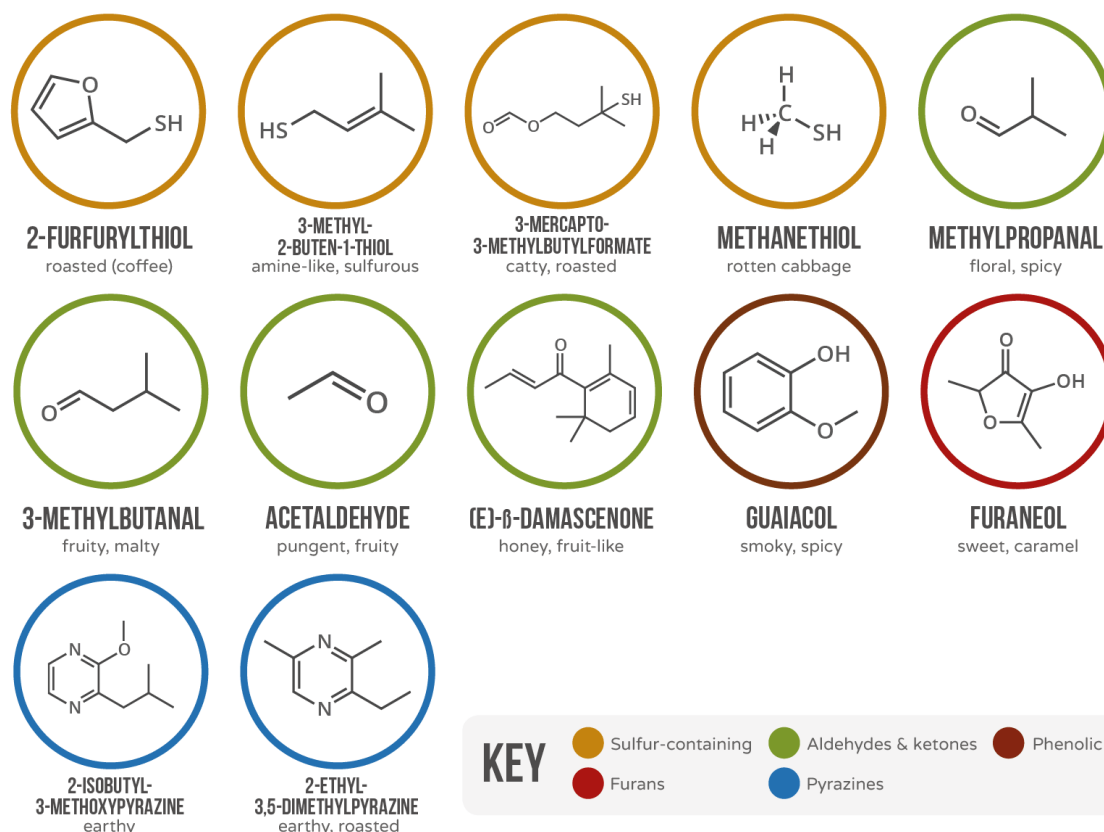
Kahvin flavori alkaa muodostua jo tiloilla, kun kahvimarjat kypsyvät (kuva 4). Ympäristöolosuhteilla kuten maaperällä ja ilmastolla on suuri merkitys kahvin laadulle. Papujen erilaiset käsittelytavat tuovat oman lisänsä flavoriin: märkäkäsittelyn kahvin on huomattu olevan hapokkaampaa ja aromikkaampaa kuin kuivakäsittelyn. Vihreiden kahvipapujen aromi on hyvin heikko ja vain paahtamalla pavut saadaan kahvin tyyppillinen flavori esiin. Suurin merkitys kahvin flavoriin onkin juuri paahtoprosessilla. Paahtodon kesto, käytetty lämpötila ja paahtokoneiden yksilölliset ominaisuudet määräävät pääosin sen, minkälaiseksi muodostuu valmiin kahvin flavori. (12; 14.)



Kuva 4. Kahvin flavoriin vaikuttavat päätekijät ovat viljely (*agriculture*), vihreän pavun käsittely (*green been processing*), paahtaminen ja jauhaminen (*roasting & grinding*), juoman valmistus (*preparation*) ja juoman tarjoilu (*serving*) (13).

Paahtoprosessin aikana kahvipavuissa tapahtuu lukuisia kemiallisia reaktioita, joista tärkeimpiä flavoriin vaikuttavia ovat Maillardin reaktio, Streckerin reaktio (*Strecker degradation*), aminohappojen hajoaminen sekä trigonellinen (*trigonelline*), kiinihapon (*quinic acid*), pigmenttien ja rasvojen väheneminen ja reagoiminen välituotteiden kanssa (12). Maillardin reaktio on kondensaatioreaktio, jossa pelkistävät sokerit reagoivat tyypeä sisältävien yhdisteiden kanssa. Steckerin reaktiossa aminohappo reagoi  $\alpha$ -dikarbonyylin kanssa muodostaen aminoketonin. Kahvin rasvoissa tapahtuu vain vähän muutoksia kuten hapettumista ja hajoamista paahtamisen aikana, mutta rasvat suojaavat muita aromikomponentteja paahdossa. (14, s. 239–243.)

Kahvin laadun ja flavorin kannalta tärkeimpiä kemiallisia yhdisteitä ovat paahdon aikana syntyvät helposti haihtuvat yhdisteet. Kahvista on identifioitu yli 1000 helposti haihtuvaa yhdistettä, mutta vain 20–30 niistä ovat kahvin aromin kannalta oleellisia. (12.) Kuvassa 5 on joidenkin kahvin aromiin vaikuttavien kemiallisten yhdisteiden rakennekaavoja.



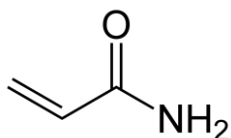
Kuva 5. Kahvin aromiin vaikuttavia yhdisteitä kahviuomassa. Oranssilla merkityt ovat rikkiä sisältäviä (*sulfur-containing*), vihreällä merkityt aldehydejä ja ketoneita, tummanpunainen fenoli (*phenolic*), punainen furaani ja sinisellä merkityt pyratsiineja (*pyrazines*). (15.)

Määrällisesti eniten kahvissa on furaaneja ja pyratsiineja. Kahvin ainutlaatuisen ja monimutkaisen maun on arveltu johtuvan pääosin rikkiä sisältävien yhdisteiden ja pyratsiinien vaihtelevista konsentraatioista eri kahvilaatujen välillä. (12.)

### 3 Akryyliamidi

#### 3.1 Akryyliamidi kahvissa

Akryyliamidi (kuva 6) on pienikokoinen ja helposti veteen liukeneva orgaaninen yhdiste. Sitä käytetään teollisuuskemikaalina mm. paperin valmistuksessa ja jätevedenpuhdistuksessa sekä polyakryyliamidien valmistuksessa. Akryyliamidia muodostuu myös hiilihydraattipitoisten ruokien valmistuksessa, kun ruokia lämmitetään yli 120 °C:n pienessä kosteuspitoisuudessa. Erityisesti akryyliamidia muodostuu ranskalaisten perunoiden, perunalastujen, leivän, keksien ja kahvin valmistusprosesseissa. (1.)



Kuva 6. Akryyliamidin rakennekaava.

Akryyliamidi siirtyy hyvän liukenevuutensa vuoksi täydellisesti jauhetusta kahvista valmiiseen suodatinkahviuomaan. Espressoissa osa kahvijauheen akryyliamidista ei liukene juomaan, mikä voi johtua espresson suuremmasta kahvi-vesisuhteesta ja lyhyemmästä uuttamisajasta. (16.)

### 3.2 EU:n lainsäädäntö

EFSA (*European Food Safety Authority*) julkaisi vuonna 2015 laajan selonteon (1), jossa se käsitteli akryyliamidin pitoisuuksia ruuassa, sen haittavaikutuksia ihmisille ja altistusrajoja. Taulukossa 1 on esitetty eri tutkijaryhmien mittaamia akryyliamidin määriä paahdetussa kahvissa, ja taulukossa on mukana myös EFSA:n selonteon mukaiset tulokset.

Taulukko 1. Akryyliamidin keskiarvomääriä µg/kg paahdetussa kahvissa eri lähteiden mukaan.

Lähde	EFSA (1)	Mojska, Hanna & Gielecinska, Iwona (17)	Bagdonaite, Kristina ym. (18)	Lantz, Ingo ym. (16)
<b>Kokonaiskeskisarvo</b>	249 (N=595)	179 (N=28)		
<b>Kahvilaadun mukaan</b>		Robusta 188 (N=10) Arabica 162 (N=6)	Robusta 708 (N=2) Arabica 374 (N=10)	Robusta 378 (N=6) Arabica 251 (N=17)
<b>Paahhtoasteen mukaan</b>	Light (N=45) 374 Medium (N=44) 266 Dark (N=15) 187	Lightest (N=4) 323 Moderately dark (N=5) 168 Darkest (N=5) 197		

Taulukosta 1 voi havaita, että akryyliamidin keskimääräiset pitoisuudet vaihtelevat lähteiden välillä hyvinkin paljon, vaikka jokaisessa yllä olevassa tutkimuksessa akryyliamidin analysointiin käytettiin LC-MS/MS-tekniikkaa. EFSA:n (1) ja Mojskan ym. (17) tutkimuksissa analysoitiin valmiita kaupallisia kahvijauheita, kun taas Bagdonaiten ym. (18) ja Lantzin ym. (16) tutkimuksissa paahdettiin raakakahveja pienpaahtimilla. EFSA:n (1)



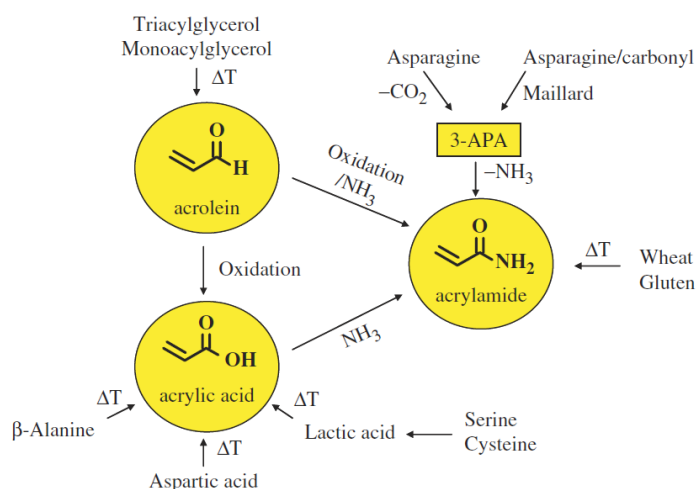
ja Mojskan ym. (17) tutkimuksissa on myös analysoitu eri paahtovärien mukaisten kahvien keskimääräisiä akryyliamidipitoisuuksia, kun taas Lantzin ym. (16) taulukossa 1 esitetyt tulokset ovat medium-paahtooselle kahville ja Bagdonaiten ym. (18) tulokset ovat paahtoajaltaan ”hyväksyttävälle tuotteelle”.

Eläin- ja solukokeissa akryyliamidin on todettu olevan neurotoksinen ja karsinogeeninen, ja sen on todettu aiheuttavan kromosomimuutoksia sekä somaattisissa että sukusoluissa. Nieltynä akryyliamidin LD<sub>50</sub>-arvo rotille on >150 mg/kg, hiirille 107 mg/kg ja kaneille sekä marsuille 150–180 mg/kg. Ihmisillekin on tehty paljon tutkimuksia akryyliamidin mahdollisista myrkyllisistä vaikutuksista, mutta täyttä varmuutta sen haittavaikutuksista ei ole. (1.) EFSA:n (1) mukaan nykyisillä ruuan kautta saatavilla päivittäisannoksilla akryyliamidissa aiheuttaa huolta ainoastaan sen mahdollisesti kasvaimia aiheuttava vaikutus. Tämän mahdollisen karsinogeenisen vaikutuksen vuoksi Euroopan komissiossa annettiin asetus, jolla pyritään vähentämään akryyliamidin määrää elintarvikkeissa (3).

Euroopan komission uusi asetus tuli voimaan joulukuussa 2017 ja sitä aletaan soveltaa huhtikuusta 2018 alkaen. Asetuksen mukaan elintarvikealan toimijoiden on sovellettava tiettyjä vähentämistoimenpiteitä, jotta päästään asetuksessa vahvistettuja vertailuarvoja niin paljon pienempään akryyliamidipitoisuuteen, kuin on kohtuudella mahdollista. Komission asetuksessa paahdetun kahvin vertailuarvoksi on määritetty 400 µg/kg. Isoille kahvipaahtimoille vähentämistoimenpiteet tarkoittavat, että niiden pitää määrittää kriittiset paahto-olosuhteet, jotta akryyliamidia muodostuu halutussa makuprofiilissa mahdollisimman vähän. Lisäksi kahvisekoitusten reseptien valinnassa on otettava huomioon, että Robusta-pavuissa muodostuu enemmän akryyliamidia kuin Arabica-pavuissa. Asetuksessa on myös sanottu, että elintarvikealan toimijoiden on kahvin jalostuksessa harvittava asparaginaasikäsittelyä aina, kun se on mahdollista. Asetuksessa on kuitenkin huomioitu se, että kaikista akryyliamidin määrää pienentävistä toimenpiteistä huolimatta vertailuarvoa ei ole mahdollista saavuttaa kaikissa maantieteellisissä tai kausittaisissa olosuhteissa tai tuoteominaisuuksissa. Näissäkin tapauksissa elintarvikealan toimijan on esitettävä todisteet siitä, että asianmukaisia vähentämistoimenpiteitä akryyliamidin vertailuarvon saavuttamiseksi on sovellettu. Akryyliamidipitoisuuksia on seurattava säännöllisesti ja komission asetuksessa on määritetty vaatimukset näytteenotolle ja pitoisuuksien määrittämisessä käytetyille menetelmille. (3.)

### 3.3 Akryyliamidin muodostuminen

Akryyliamidi muodostuu pääosin Maillardin reaktiossa aminohappo asparagiinin ja pelkistävien sokerien, kuten fruktoosin ja glukoosin, tai reaktiivisten karbonyyliryhmien välillä. Kahvin paahto tapahtuu suhteellisesti korkeammissa lämpötiloissa kuin usean muun ruoka-aineen valmistus, minkä vuoksi akryyliamidia muodostuu myös muissa kuin Maillardin reaktioissa. Asparagiinin lisäksi muita mahdollisia lähtöaineita ovat mm. akroleiini (*acrolein*) ja akryylihappo (*acrylic acid*) (kuva 7). (2; 19.)



Kuva 7. Mahdollisia reaktioreittejä akryyliamidin (acrylamide) muodostumisessa (19).

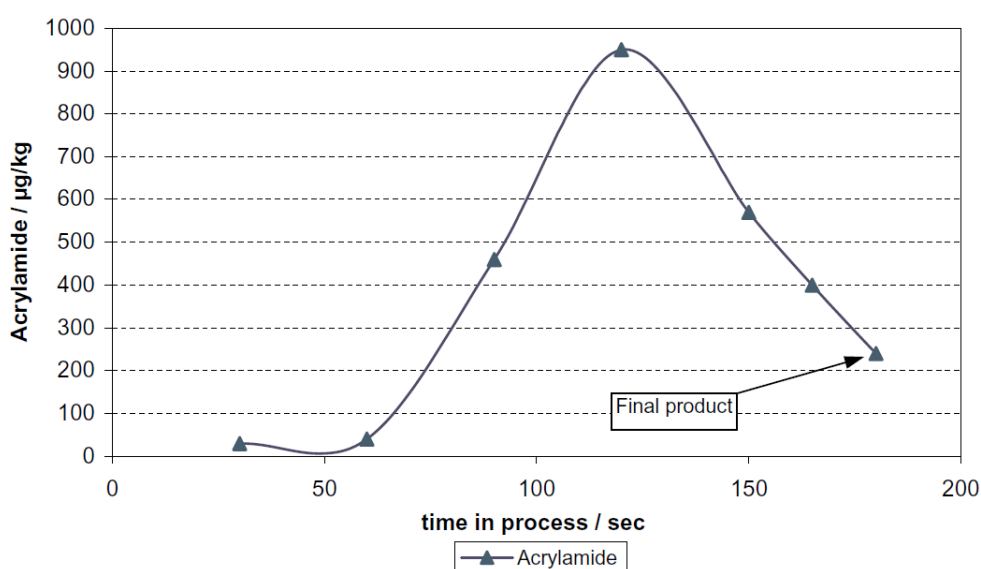
Akroleiinia voi muodostua useilla eri tavoilla, joista yksi on rasvojen hajoaminen. Akroleiini voi edelleen hapettua akryylihapoksi tai suoraan akryyliamidiksi. Akryyliamidia syntyy myös akryylihapon reagoidessa ammoniakin kanssa. 3-aminopropioniamidin (3-APA kuvassa 7) on arveltu olevan tärkeä välituote, kun asparagiinista muodostuu akryyliamidia. (19.)

Akryyliamidi analysoidaan näytteistä yleisimmin käyttäen joko LC-MS/MS- tai GC-MS-tekniikkaa. Kahvi on näyttemateriaalina hankala, koska siinä on satoja erilaisia komponentteja, joista useimmat ovat pienimolekyyliä. Pääreaktioreitti asparagiinista on hyvin tunnettu, mutta koska kahvinpaahto voi tapahtua hyvinkin korkeissa lämpötiloissa, muutkin reaktioreitit olisi hyvä tuntea.

### 3.4 Määrään vaikuttavat tekijät

Useissa tutkimuksissa (16; 17; 18; 20) on havaittu, että paahdetuissa Robusta-kahveissa on enemmän akryyliamidia kuin paahdetuissa Arabica-kahveissa (taulukko 1). Yksi selittävä tekijä tälle on se, että vihreissä Robusta-pavuisissa on enemmän akryyliamidin pääasiallista lähdettä asparagiinia (16; 18). Kahvin käsittelymenetelmällä (kuiva tai märkä) ei ole havaittu olevan merkitystä muodostuvan akryyliamidin määrään (16; 20).

Tärkein akryyliamidin määrään vaikuttava tekijä on paahtoprosessi ja tätä on tutkittu useissa laboratoriomittakaavan paahtimissa. Lantz ym. (16) pysäyttivät paahtoprosessin useissa eri vaiheissa ja he huomasivat, että akryyliamidia sekä muodostuu että hajoaa paahtamisen aikana. Kuvasta 8 on huomattavissa, että akryyliamidin määrä saavuttaa paahtodon alkuvaiheessa maksimin, jonka jälkeen sen määrä vähenee.



Kuva 8. Akryyliamidin määrä osittain paahdetuissa kahveissa. Tutkimus tehtiin kuivakäsitellyille Arabica-kahveille pysäyttämällä paahto eri vaiheissa. Lopullinen paahtoaste oli medium. (16.)

Kaupallisesti tuotettuja kahveja paahdetaan yleensä vähintään 3 minuutin ajan erittäin korkeissa lämpötiloissa, jolloin akryyliamidin määrä on jo saavuttanut maksimin ja sen pitoisuus on alkanut vähentyä. Mitä pidempään paahto kestää ja mitä korkeammassa lämpötilassa paahto tapahtuu, sitä vähemmän akryyliamidia jää paahdettuun kahviin (18). Akryyliamidin määrä vähenee kahvin paahtoväriin tummetessa (1; 16; 17). Tämä

selittää myös taulukossa 1 olevat EFSA:n (1) selonteossa havaitut paahtoasteiden mukaan vaihtelevat akryyliamidipitoisuuksien erot. Bagdonaiten ym. (18) tutkimuksessa akryyliamidia ei enää havaittu 15 minuutin paahtamisen jälkeen missään paahtolämpötilassa. On kuitenkin muistettava, että yleensä kaupallisesti tuotettua kahvia ei voida paahtaa näin pitkään. Kahvin paahtoasteen tummeneminen tarkoittaa aina myös muutoksia kahvin flavoriin, koska kahvin flavoriin vaikuttavat aromit muodostuvat paahtamisen aikana.

Anese ym. (21) tutkivat paineen vaikutusta akryyliamidin määrään. He paahtoivat Arabica-kahvia 200 °C:ssa eri aikoja melkein tyhjiössä (0,15 kPa) ja vertasivat näin paahdetun kahvin akryyliamidin määrää perinteisesti paahdettuun kahviin. Tulokseksi saatiin, että keskipaahtoisella kahvilla tyhjiössä paahdetussa kahvissa oli noin 50 % vähemmän akryyliamidia kuin perinteisesti paahdetussa kahvissa. Eri menetelmillä paahdetut kahvit olivat myös paahtoväritään samanlaisia eikä niissä havaittu makueroja. (21.) Tämä tutkimus antoi erittäin lupaavia viitteitä siitä, että paahtamisen aikaisen paineen pienentämisellä voitaisiin merkittävästi vähentää akryyliamidin määrää. Huomattavaa on, että tutkimus tehtiin laboratoriomittakaavan välineillä, joten malli on todennettava myös teollisuusmittakaavassa ja löydettävä sinne sopivat paahto-olosuhteet.

Akryyliamidin määrään vaikuttaa myös kahvijauheen tai -papujen säilytys. Säilytysajan pidentyessä useisiin kuukausiin paahdetun kahvin akryyliamidin määrä vähenee, koska akryyliamidi reagoi kahvin muiden ainesosien, erityisesti luontaisten nukleofiilien kanssa (22). Kuuden kuukauden huoneenlämmössä säilytyksen jälkeen jauhetun kahvin akryyliamidipitoisuuden on havaittu vähentyneen 40–65 % (23). Säilytyslämpötilallakin on huomattu olevan merkitystä. Huoneenlämmössä tai lämpimämmässä (37 °C) säilytetyn kahvin akryyliamidipitoisuus vähenee enemmän verrattuna viileässä (4 °C) tai pakka- sessa (-40 °C) säilytettyyn kahviin (16; 23). Tässäkin seikassa on muistettava, että kahvin flavori muuttuu säilytyksen aikana ja kahvi on parhaimmillaan muutaman viikon kuluessa paahtamisesta. Kahviteollisuuden kannalta katsottuna useiden kuukausien valmiin tuotteen varastointi lisäisi huomattavasti kustannuksia.

Biokemiallinen vaihtoehto akryyliamidin vähentämiseen on vihreiden kahvipapujen esikäsittely entsyymillä. Asparaginaasi on entsyymi, joka muuttaa akryyliamidin lähteenä olevan asparagiini-aminohapon asparagiinihapoksi vähentäen näin myös akryyliamidin määrää paahdetussa kahvissa. Tätä menetelmää on kokeiltu muroilla, joissa akryyliami-

din määrää saatiin vähennettyä jopa 80 % vaikuttamatta ruoka-aineen makuun. Haastavinta on saada entsyymi soluseinämien sisään asparagiinin lähettyville, jotta reaktio olisi mahdollinen. Menetelmää on tutkittu myös kahvilla, mutta vain pienessä mittakaavassa. Kahvi on haasteellinen tuote koostumuksensa vuoksi, ja vaatimuksena entsyymireaktion aikaansaamiseksi olisi papujen kastelu ja uudelleenkuivaaminen. Vihreiden papujen entsyymikäsittely vaikuttaisi myös jossain määrin paahdetun kahvin flavoriin aiheuttamalla siihen virhemakuja. Teollisuusmittakaavassa tämä menetelmä vaatisi prosessin uudistamista täysin ja erittäin kalliiden kastelu/kuivaus-prosessien lisäämistä linjastoihin. (2; 24.) Entsyymikäsittely ei ole varteen otettava vaihtoehto suurten kahvitalojenkaan käyttöön tällä hetkellä (25, s. 51).

## 4 Materiaalit ja menetelmät

### 4.1 Raakakahvi

Tässä työssä käytetyt raakakahvit olivat Arabica-kahveja. Työssä vertailtiin kahta eri raakakahvilaatua, joista toinen oli brasilialainen kuivakäsitelty kahvi ja toinen useista eri maista kotoisin oleva märkäkäsitelty kahvisekoitus. Jatkossa näitä kahvilaatuja kutsutaan lyhyesti nimillä kuiva ja märkä.

Kahvit voidaan jakaa eri paahtoasteisiin useilla eri tavoilla. Oy Gustav Paulig Ab:lla on käytössä viisiportainen asteikko, joka on kuvattu taulukossa 2. Työssä tutkittiin vaaleapaahtoisia kahveja, joiden paahtoväri on välillä 21,0–23,0 L\*, koska niissä on tyypillisesti tummapaahtoista kahvia korkeampi akryyliamidipitoisuus.

Taulukko 2. Kahvin paahtoaste- ja väriluokitus.

Luokitus	light	medium	dark	very dark	extra dark
Paahtoaste	1	2	3	4	5

### 4.2 Esikokeet ja paahtoprofiilit

Esikokeiden tarkoituksena oli löytää vaaleapaahtoisen kahvin normaalin tuotantopaahtoprofiilin (profiili 1) ja yrityksen aiemmassa tutkimuksessa testaaman paahtoprofiilin

(profiili 2) välistä kolmas profiili (profiili 3), jota voitaisiin käyttää varsinaisissa paahtokokeissa. Kaikki paahtokokeet tehtiin samalla paahtokoneella, joka on teollisuusmittakaavan sentrifugaalinen paahdin (Probat, Saksa). Esikokeissa testattiin kolmea eri paahtoprofiilia kuivakäsitellylle kahville 500 kg:n papuerillä. Tavoitteena oli saada kahvia, jonka paahtoväri olisi tuotespesifikaation määräämä minimitavoitearvo 21,6 L\*. Esikokeissa paahtetuista kahveista mitattiin volyymi, väri ja akryyliamidipitoisuus. Tulosten perusteella valittiin sopivin profiili varsinaisiin paahtokokeisiin.

Profiileissa 2 ja 3 muutettiin paahtossa käytettävän kuumailman lämpötilaa ja ilmamäärää normaalin tuotantoprofiilin 1 parametreista. Profiilin 2 paahtossa käytettiin paahton alussa noin 30 °C profiilia 1 korkeampaa lämpötilaa ja ilmamäärä oli 9–14 prosenttiyksikköä suurempi. Paahton loppua kohden profiilissa 2 käytettiin alhaisempaa lämpötilaa ja pienempiä ilmamääriä kuin profiilissa 1. Profiilin 3 paahtossa käytettiin alussa samoja korkeampia lämpötilan ja ilmamäärän arvoja kuin profiilissa 2. Paahton loppua kohden profiilissa 3 kuitenkin säilytettiin ilman määrä samana kuin profiilin 1 paahton lopussa, mutta kuumailman lämpötila oli noin 100 °C matalampi profiilissa 3. Näistä muutoksista johtuen eri profiilien paahtoajat poikkesivat huomattavasti toisistaan. Normaalin tuotantoprofiilin 1 kahvien paahto aika oli noin 350 sekuntia (5,8 minuuttia), profiilin 2 kahvien paahto aika oli noin 470 sekuntia (7,8 minuuttia) ja profiilin 3 kahvien paahto aika noin 410 sekuntia (6,8 minuuttia). Kyseiset paahtoajat ovat kahveille, joissa paahton loppulämpötila oli säädetty niin, että kahvin väri oli tuotespesifikaation mukaisella värialueella.

#### 4.3 Paahtokokeet

Paahtokokeet tehtiin taulukossa 3 olevan koesuunnitelman mukaisesti. Jokaisesta koesuunnitelman pisteestä tehtiin toistokoe, jotta tuloksista saataisiin mahdollisimman luotettavat. Muuttujia oli kolme: raakakahvin laatu, lämpötilan muutos ja paahtoprofiili. Lämpötilan muutos tarkoittaa paahton eli papujen loppulämpötilaan tehtyä muutosta ja korotuksen arvot 3,3 °C ja 6,6 °C ovat samat kuin yrityksen aiemmassa sisäiseen käyttöön tarkoitetussa tutkimuksessa.

Taulukko 3. Paahtokokeiden koesuunnitelma (ei sisällä toistoja).

Raakakahvi	Loppulämpötilan muutos $\Delta T$ °C	Profiili	
kuiva	0	1	referenssi
kuiva	0	2	
kuiva	0	3	
kuiva	3,3	1	
kuiva	3,3	2	
kuiva	3,3	3	
kuiva	6,6	1	
kuiva	6,6	2	
kuiva	6,6	3	
märkä	0	1	referenssi
märkä	0	2	
märkä	0	3	
märkä	3,3	1	
märkä	3,3	2	
märkä	3,3	3	
märkä	6,6	1	
märkä	6,6	2	
märkä	6,6	3	

Paahdon loppulämpötilat riippuivat raakakahvilaadusta ja paahtoprofiilista (taulukko 4). Eri raakakahveilla ja eri paahtoprofiileilla paahdettaessa loppulämpötilat säädettiin niin, että lämpötilan muutoksen arvolla 0 °C näiden koesuunnitelman pisteiden kahvien väri olisi mahdollisimman lähellä tuotespesifikaation määräämää CIE-väriasteikon tavoiteväliä 21,6–21,8 L\*. Lämpötilan korotusten arvot 3,3 °C ja 6,6 °C laskettiin eri raakakahveilla ja profiileilla taulukon 4 loppulämpötiloihin.

Taulukko 4. Loppulämpötilat eri paahdoissa, kun lämpötilan muutos on 0 °C.

Raakakahvi	Profiili	Loppulämpötila °C
kuiva	1	213,0
kuiva	2	210,5
kuiva	3	211,1
märkä	1	211,1
märkä	2	206,5
märkä	3	207,6

Paahtokokeet tehtiin samalla paahtokoneella kuin esikokeet. Tuotannollisista syistä johdun kokeiden tekojärjestystä ei pystytty satunnaistamaan. Kokeet aloitettiin kuivakäsi-

tellyllä kahvilla ja niitä jatkettiin toisena päivänä märkäkäsittelyllä kahvilla siten, että toistokokeet pyrittiin tekemään peräkkäin. Jokaisesta paahtoerästä haettiin kivenerottimelta (kuva 2) ämpäriäinen papuja mittauksia ja akryyliamidianalyysia varten. Kaikista paahtoeristä pakattiin myös noin 600 g papuja suojakaasuun ja pakastettiin myöhempiä aistinvaraisia tutkimuksia varten.

#### 4.4 Mittausmenetelmät

Kuivakäsittelyt papunäytteet jätettiin suljettuihin ämpäreihin noin 12 tunnin ajaksi, minkä jälkeen noin 500 g papuja jauhettiin käsikäyttöisellä myllyllä (Mahlkönig VTA 6SW 3, Saksa) suodatinjauhukseen. Jauhetusta kahvista mitattiin välittömästi väri, kosteus ja tilavuus. Märkäkäsittelyt papunäytteet jauhettiin samalla käsimyllyllä välittömästi paahtojen jälkeen ja noin 500 g jauhettuja kahvinäytteitä säilytettiin suljetuissa muovipusseissa noin 20 tunnin ajan, minkä jälkeen niistä mitattiin väri, kosteus ja tilavuus.

Kahvien akryyliamidipitoisuuksien selvittämistä varten jauhettua kahvia lähetettiin noin 300 gramman näyte ulkoisen laboratorion analysoitavaksi. Kuivakäsittelyt kahvinäytteet jauhettiin ja pakattiin suojakaasuun noin 12 tunnin kuluttua paahtosta ja lähetettiin analysoitavaksi pakkausta seuraavana päivänä. Märkäkäsittelyt kahvinäytteet pakattiin suojakaasuun noin 20 tunnin kuluttua paahtosta ja lähetettiin analysoitavaksi pakkauspäivänä. Analyysit suoritti Eurofins Scientific Finland Oy, ja se käytti mittauksissaan omaa sisäistä menetelmäänsä LC-MS/MS-tekniikalla. Analyysien laajennettu mittausepävarmuus oli noin 12 %.

Kahvin väri mitattiin Hunterlab D25L T -laitteistolla (Hunter Associates Laboratory Inc., USA), joka ilmoittaa näytteen värin CIE  $L^*a^*b^*$  -väriskaalalla. Tässä skaalassa  $L^*$  voi saada arvoja 0–100, arvon 0 edustaessa täysin mustaa ja arvon 100 edustaessa täysin valkoista (26). Asteikot  $a^*$  ja  $b^*$  ilmoittavat näytteen muita värejä eikä niitä oteta tavallisesti huomioon kahvin paahtoväriä mitattaessa, joten niitä ei huomioitu tässäkään tutkimuksessa. Värin mittausta varten jauhettua kahvia kaadettiin ylimäärin metalliselle mittausalustalle ja näytteen pinta tasoitettiin metalliivaimella. Mittausalusta asetettiin Hunterlab-laitteistoon, joka ilmoitti värin. Värin mittauksessa on suhteellisen iso virhemarginaali johtuen pääosin kahvinäytteen asettumisesta alustalle ja pinnan tasoittamisesta. Sama henkilö mittasi kaikkien näytteiden värin, mikä pienentää virhemahdollisuuksia.



Väri mitattiin jokaisesta kahvinäytteestä kolme kertaa ja loppuarvona käytettiin kolmen mittauskerran aritmeettista keskiarvoa.

Volyymi mitattiin jauhetusta kahvista käyttäen Jel Stav 2003 -volyymimittaria (J. Engelsmann Ag, Saksa). Kahvia punnittiin 70 g muoviseen mittalasiin niin, että kahvijauheen pinta oli tasainen. Mittalasi asetettiin volyymimittariin, joka täryyttää lasia 200 kertaa. Tärytyksen loputtua luettiin mittalasin asteikolta kahvijauheen yläreunasta tilavuus millilitroina.

Kosteus mitattiin Mettler Toledo HR83 -pikamittarilla (Mettler Toledo GmbH, Sveitsi). Jauhettua kahvia punnittiin 5,0 g mittausalustalle. Kosteuden mittaamiseen käytettiin mittariin ohjelmoitua kuivausohjelmaa numero 1, joka on tarkoitettu suodatinjauhetulle kahville. Kosteuspitoisuus luettiin mittarin näytöltä ohjelman päätyttyä.

#### 4.5 Aistinvaraiset erotustestit

Kolmitestillä selvitetään, onko kahden näytteen välillä aistein havaittavissa oleva ero (*triangle test for difference*) tai ovatko näytteet samankaltaisia (*triangle test for similarity*). Menetelmää voidaan käyttää, vaikka näytteiden välisen eron aiheuttajaa ei tiedetä tai ero aiheutuisi useammasta eri tekijästä. Näytteiden täytyy olla melko homogeenisiä koostumukseltaan. Kolmitestiä käytetään hyvin yleisesti elintarviketeollisuudessa, kun halutaan esimerkiksi selvittää aiheuttaako raaka-aineiden tai valmistusmenetelmän muutos muutoksia tuotteeseen. (27.)

Kolmitestissä arvioitsijat saavat kolme näytettä, joista kaksi on samanlaista ja yksi on erilainen. Arvioitsijoiden tehtävänä on kertoa, mikä näytteistä on heidän mielestään muista eroava, vaikka valinta perustuisikin arvaukseen. Kyseessä on ns. pakotettu valinta, ja arvausmahdollisuus kolmitestissä on 1/3. (27.)

Kolmitestejä varten paahtokokeiden papunäytteet otettiin pois pakkasesta 2–18 tuntia ennen testiä. Sulaneet pavut jauhettiin käsikäyttöisellä myllyllä suodatinjauhatukseen noin 1 tunti ennen testiä. Kahvinäytteet valmistettiin punnitsemalla 60 g kahvijauhetta ja suodattamalla kahvi yhdellä litralla vettä Moccamaster-kahvinkeitinillä. Näytteiden annettiin jäähtyä noin 10–15 minuuttia ennen arviointia, jolloin ne olivat sopivanlämpöisiä

nautittavaksi. Paahtokokeiden erotustesteissä arvioitavana oli aina kaksi kolmen näytteen sarjaa, ja arvioijina toimi yrityksen laajennettu ammattilaisraati ( $N = 5-7$ ). Testit suoritettiin arviointikopeissa ja tulokset kerättiin EyeQuestion-ohjelmalla (EyeQuestion Software, Hollanti). Riskitasona testeissä oli  $\alpha = 0,05$ . Testiohjelman vastausnäky on liitteessä 1. Kolmitestit tehtiin ainoastaan kahveille, joiden paahdon loppulämpötilan muutokset olivat  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja  $3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , koska yrityksen aiemmasta tutkimuksesta tiedettiin, että loppulämpötilan muutoksella  $6,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  on liian suuri vaikutus kahvin flavoriin.

#### 4.6 Koeajo paketoituksi kahvijauheeksi

Paahtokokeiden tulosten ja aistinvaraisten erotustestien perusteella valittiin paahtoprofiili ja loppulämpötila, joilla tehtiin lopullinen koeajo. Koeajossa paahdettiin normaalin tuotantoprofiiliin mukaan lopputuotteeksi eli paketoituksi kahvijauheeksi asti 1) referenssi-kahvi ja 2) kokeiden perusteella valittujen parametrien mukaan paahdettu koekahvi. Referenssi- ja koekahvi tehtiin samoista raakapavuista saman reseptin mukaan, jolloin muuttuvana tekijänä oli ainoastaan koekahvin paahtoprofiili ja loppulämpötila.

Referenssi- ja koekahvien pavuista haettiin papunäytteet kivenerottimelta (kuva 2) ja pavut jauhettiin käsikäyttöisellä myllyllä (Mahlkönig VTA 6SW 3, Saksa) suodatinjauhatukseen heti paahdon jälkeen. Papunäytteistä mitattiin jauhatuksen jälkeen paahtoväri Hunterlab D25L T -laitteistolla (Hunter Associates Laboratory Inc., USA) ja tilavuus Jel Stav 2003 -volyymimittarilla (J. Engelsmann Ag, Saksa). Jauhetuista pavuista pakattiin noin  $300\text{ g}$ :n näyte suojakaasuun ja näytteet lähetettiin Eurofins Scientific Finland Oy:lle, joka analysoi papunäytteiden akryyliamidipitoisuuden. Referenssi- ja koekahvista lähetettiin molemmista myös yksi valmis kahvijauhepaketti akryyliamidianalyysiin Eurofins Scientific Finland Oy:lle. Lopputuotteista eli pakettikahveista mitattiin väri noin viikko paahdon ja pakkauksen jälkeen, kun paketit avattiin aistinvaraisia kokeita varten.

Pakettikahveille tehtiin kolmitestit sekä talon sisäisellä kuluttajaraadilla ( $N = 30$ ) että ammattilaisraadilla ( $N = 5$ ) noin viikko paahdon ja pakkauksen jälkeen. Kolmitestejä tehtiin viiden päivän ajan ja jokaisena testipäivänä avattiin aina uudet kahvipaketit, jotta kahvinäytteet olisivat yhtä tuoreita. Näytteet valmistettiin punnitsemalla  $60\text{ g}$  kahvijauhetta ja suodattamalla kahvi yhdellä litralla vettä Moccamaster-kahvinkeitinillä. Näytteiden annettiin jäähtyä noin  $10-15$  minuuttia ennen arviointia, jolloin ne olivat sopivanlämpöisiä

nautittavaksi. Testit suoritettiin arviointikopeissa ja tulokset kerättiin EyeQuestion-ohjelmalla. Riskitasona testeissä oli  $\alpha = 0,05$ .

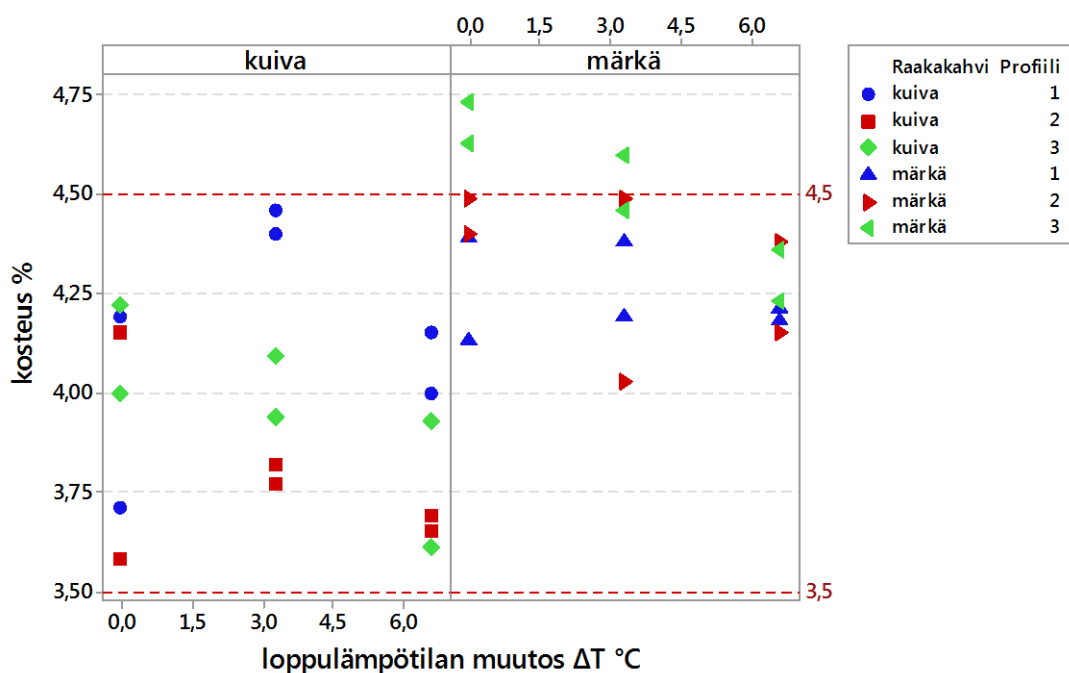
## 5 Tulokset ja niiden tarkastelu

### 5.1 Yleistä koeasetelmasta

Liitteessä 2 ovat paahtokokeiden kaikki tulokset taulukkomuodossa. Tuloksille tehtiin tilastolliset analyysit Minitab 17 -tilasto-ohjelmalla (Minitab Inc., USA). Suunnittelumuuttujia olivat raakakahvi, paahtoprofiili ja paahton loppulämpötilan muutos  $\Delta T$ . Näistä muuttujista raakakahvi ja profiili olivat kvalitatiivisia ja  $\Delta T$  kvantitatiivinen muuttuja. Vaste-  
muuttujia olivat akryyliamidipitoisuus, tilavuus ja kosteus. Lisäksi jokaisesta paahtoterästä mitattiin kahvin paahtoväri ja otettiin muistiin paahtokoneen ilmoittama paahtoaika.

### 5.2 Paahtetun kahvin kosteus

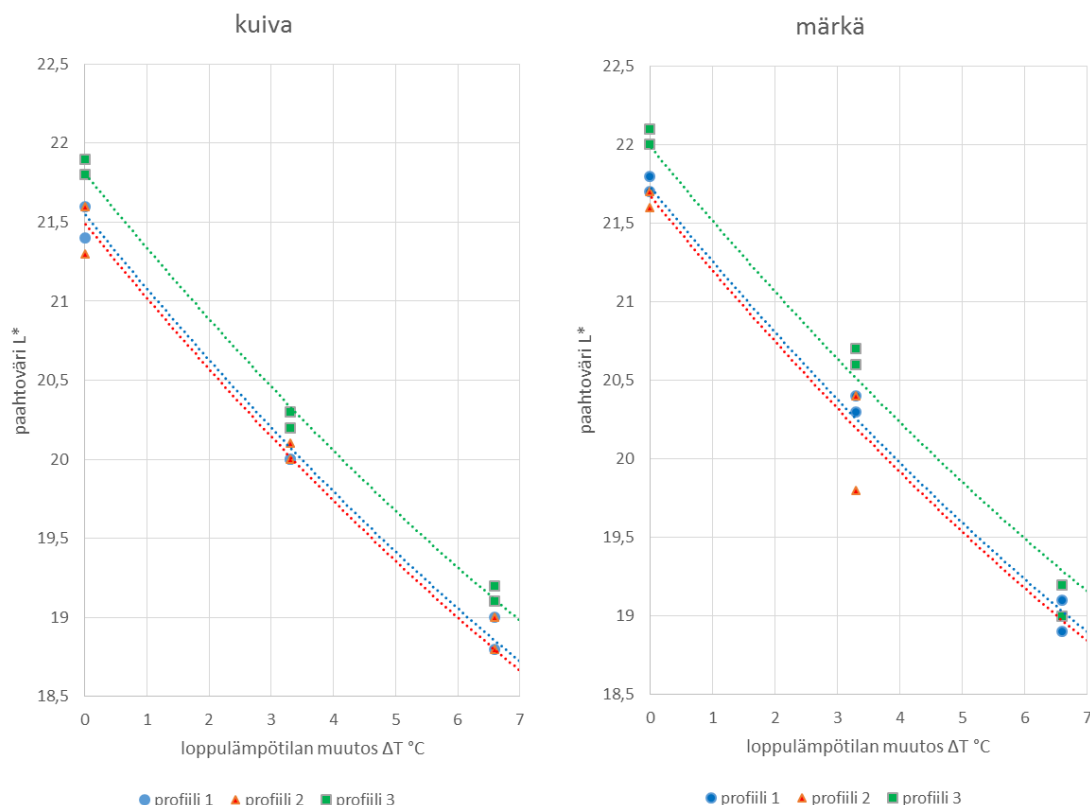
Inhimillisistä tekijöistä johtuen paahtokokeissa käytettiin paahton jälkeiseen esijäähdytykseen paahtokulhossa eri määrät jäähdytysvettä. Jäähdytysveden määrä vaikuttaa suoraan paahtetun kahvin kosteuspitoisuuteen. Tästä johtuen kosteuspitoisuudelle ei ole mielekasta tehdä tilastollista analyysiä. Tässä työssä käytettiin sekä kuivan että määrän kahvin tavoitekosteutena paahtoisissa  $4,0 \pm 0,5$  %, ja nämä tavoiterajat on merkitty myös kuvaajaan 9, jossa kosteudet on esitetty loppulämpötilan muutoksen funktiona. Ainoastaan määrän kahvin profiililla 3 paahtetuissa kahveissa kosteuspitoisuus saa suurempia arvoja kuin ylätavoiteraja. Tähän voi olla syynä luonnollinen vaihtelu kosteuspitoisuuksissa tai mittausepä-tarkkuus.



Kuva 9. Eri paahtoprofiileilla valmistettujen kahvien (kuiva 1, 2 ja 3; märkä 1, 2 ja 3) kosteuspi-toisuudet paahton loppulämpötilan muutoksen funktiona.

### 5.3 Kahvin paahtoväri

Kahvin paahtoväriin riippuvuutta suunnittelumuuttujista tutkittiin yleisellä lineaarisella mallilla, jonka tulokset ovat liitteessä 3. Raakakahvi ja profiili asetettiin mallissa fakto-reiksi ja lämpötilan muutos kovariantiksi. Mallissa tutkittiin myös muuttujien yhteisvaiku-tuksia sekä kovariantin toisen asteen tekijän vaikutusta. Kaikkien suunnittelumuuttujien vaikutus paahtoväriin on tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0,05$ ) ja kovariantin eli  $\Delta T$ :n toisen asteen tekijän ( $\Delta T * \Delta T$ ) vaikutus on myös tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0,05$ ). Muuttujien yhteisvaikutuksilla ei ole tilastollista merkitsevyyttä. Mallin selitysaste ( $R^2$ ) on 98,7 %. Selitysaste on erittäin hyvä, joten saatu malli kuvaa hyvin paahtoväriin riippuvuutta suun-nittelumuuttujista. Paahtoväriin muodostumiseen vaikuttava tärkein tekijä on paahton loppulämpötila, mutta paahtettaessa kahvia haluttuun väriin on otettava huomioon myös raakakahvin laatu ja paahtoprofiili. Kuvassa 10 on esitetty paahtovärit loppulämpötilan muutoksen funktiona.



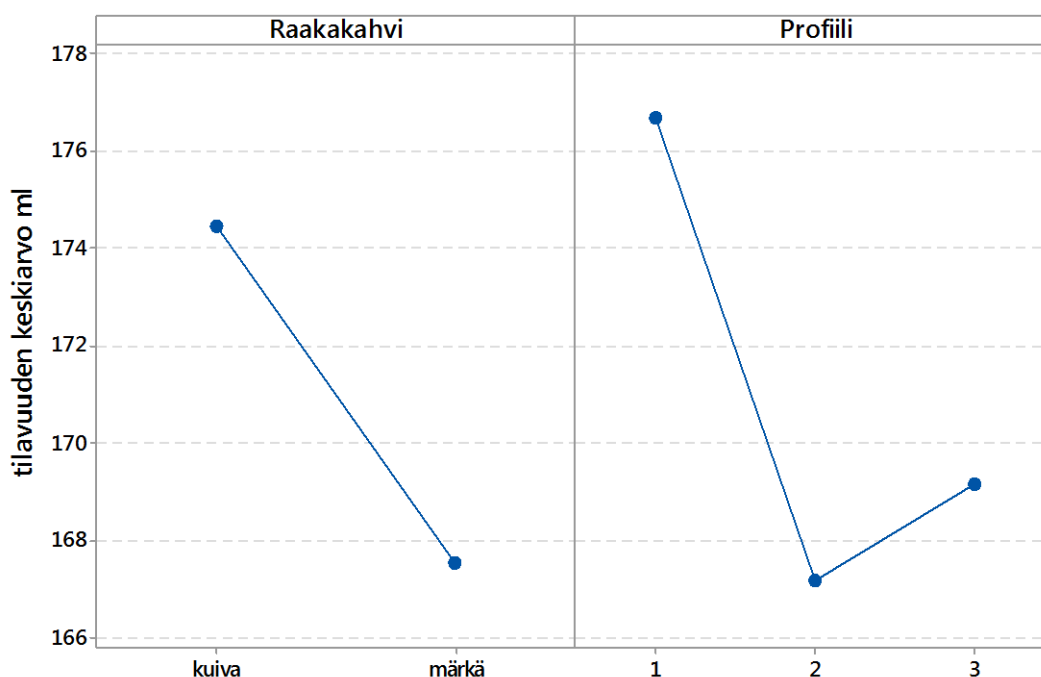
Kuva 10. Kahvin paahtovärit paahton loppulämpötilan muutoksen funktiona ja yleisen lineaarisen mallin regressioyhtälöiden kuvaajat.

Yleisen lineaarisen mallin antamien regressioyhtälöiden kuvaajat ovat loppulämpötilan muutoksen suhteen paraabeleja, koska paahtoväriin vaikuttaa myös  $\Delta T$ :n toisen asteen tekijä. Loppulämpötilan noustessa kahvien paahtoväri tummenee eli paahtoväriin lukuarvo CIE-asteikolla ( $L^*$ ) pienenee. Loppulämpötilan muutoksen ollessa 0 °C pyrittiin kaikissa paahtoisissa asettamaan loppulämpötila siten, että paahtoväri olisi tavoitealueella 21,6–21,8  $L^*$ . Toteutuneet paahtovärit kuitenkin vaihtelevat välillä 21,3–22,1  $L^*$ , kun  $\Delta T$  on 0 °C. Tämä kertoo siitä, että kahvin paahtoprosessi on altis pienillekin muutoksille ja vaihteluille, ja paahtoväriin mittauksessa on inhimillisistä tekijöistä johtuen melko suuri virhemarginaali.

#### 5.4 Paahdetun kahvin tilavuus

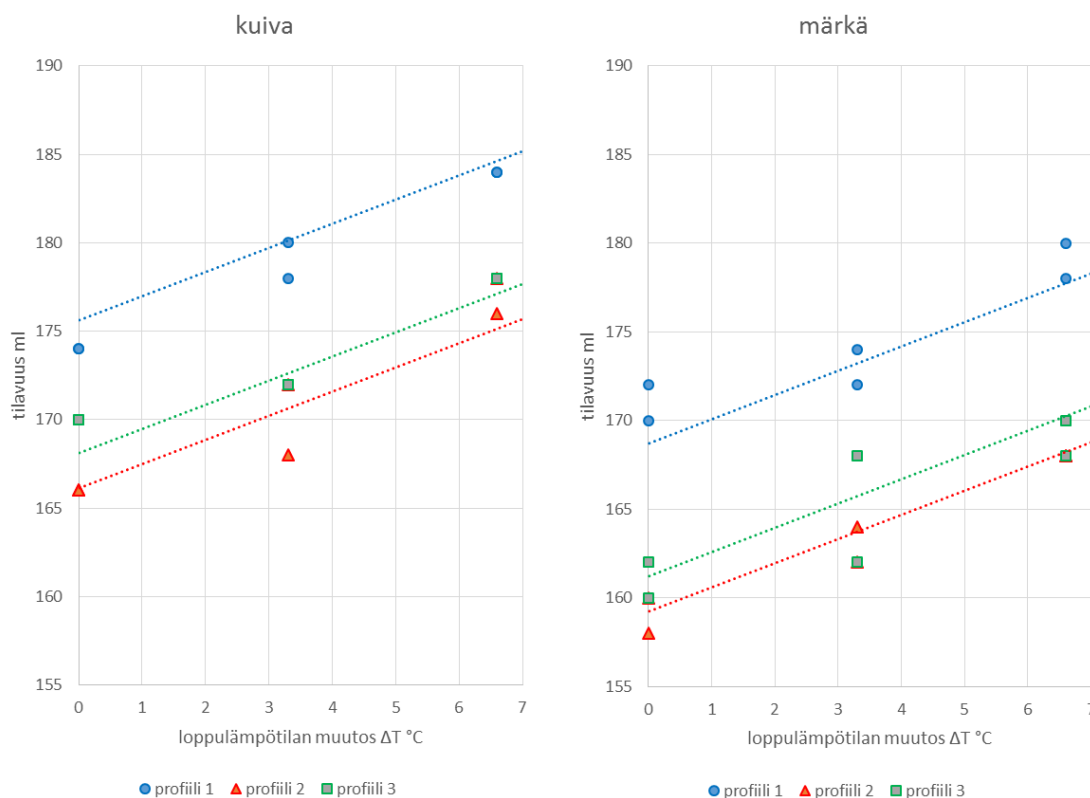
Tilavuuden riippuvuutta suunnittelumuuttujista tutkittiin samoin kuin paahtoväriä eli yleisellä lineaarisella mallilla (liite 4). Raakakahvi ja profiili asetettiin tässäkin mallissa fakto-

reiksi ja lämpötilan muutos kovariantiksi. Mallissa tutkittiin myös muuttujien yhteisvaikutuksia sekä kovariantin toisen asteen tekijän vaikutusta. Kaikkien kolmen suunnittelu-muuttujan vaikutus tilavuuteen on tilastollisesti merkitsevä merkitsevyystasolla 5 %  $p$ -arvon ollessa 0,000 jokaisella muuttujalla. Muuttujien yhteisvaikutuksilla ja  $\Delta T$ :n toisen asteen tekijän vaikutuksella ei ole tilastollista merkitsevyyttä. Mallin selitysasteeksi ( $R^2$ ) saatiin 94,5 %. Selitysaste on hyvä, joten saatu malli kuvaa tilavuuden riippuvuutta suunnittelu-muuttujista hyvin. Kuvasta 11 on nähtävissä raakakahvin ja profiilin vaikutukset tilavuuteen.



Kuva 11. Yleisen lineaarisen mallin faktoreiden (raakakahvi ja profiili) vaikutukset paahdetun kahvin tilavuuteen. Tilavuuden keskiarvot kuivalla ja märällä raakakahvilla sekä paahtoprofiileilla 1, 2 ja 3.

Kuivan kahvin keskitilavuus oli noin 174 ml ja märän kahvin 168 ml. Profiilin muutos vaikuttaa tilavuuteen siten, että profiililla 1 paahdettujen kahvien tilavuus on suurin (ka = 177 ml), profiililla 2 paahdetuilla kahveilla keskitilavuus on pienin (167 ml) ja profiililla 3 paahdettujen kahvien tilavuus on hieman suurempi (ka = 169 ml) kuin profiilin 2 kahvien. Loppulämpötilan muutoksen suurentaminen kasvattaa myös paahdetun kahvin tilavuutta (kuva 12).



Kuva 12. Kahvien tilavuudet paahton loppulämpötilan muutoksen funktiona ja yleisen lineaarisen mallin regressiosuorien kuvaajat.

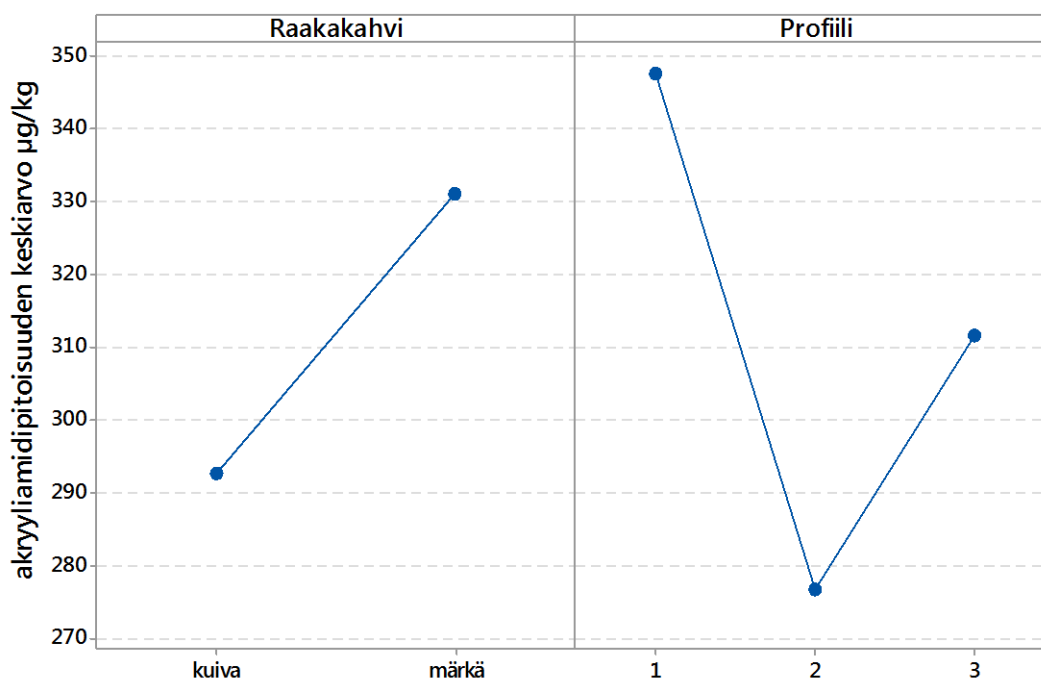
Eggersin ja Pietschin (11) mukaan korkeampi paahtolämpötila kasvattaa kahvipapujen tilavuutta, ja tässä työssä saadut tulokset ovat yhteneviä näiden havaintojen kanssa. Loppulämpötilojen erot tässä työssä olivat hyvin pieniä (taulukko 4), mutta vaikutus tilavuuteen on silti tilastollisesti merkitsevä ( $p = 0,000$ ). Kuivan kahvin loppulämpötilat samoilla profiileilla olivat suurempia kuin märän kahvin, joten myös tilavuuden keskiarvot ovat suuremmat kuivalla kahvilla. Profiilien väliset loppulämpötilat pienenevät seuraavassa järjestyksessä: profiili 1 > profiili 3 > profiili 2, ja samoin tapahtui tilavuuden keskiarvoille profiilien välisiä eroja verrattaessa (kuva 11). Tuotespesifikaatiossa on asetettu tilavuudelle tavoiteväli paahtossa, joka on 170–175 ml. Suurin osa profiileilla 2 ja 3 paahtetuista kahvieristä ei täyttänyt tilavuuden tavoitekriteerejä, mikä voisi aiheuttaa ongelmia pakattaessa kahvijauhetta tyhjiöpakkauksiin, joissa on massaltaan tarkka määrä jauhetta kahvia.

## 5.5 Kahvin akryyliamidipitoisuus

Akryyliamidin riippuvuutta suunnittelumuuttujista tutkittiin myös yleisellä lineaarisella mallilla (liite 5). Kaikkien suunnittelumuuttujien vaikutus akryyliamidipitoisuuteen on tilastollisesti merkitsevä merkitsevyystasolla 5 % muuttujien  $p$ -arvojen ollessa 0,000. Parittainen yhteisvaikutus raakakahvi \*  $\Delta T$  on myös tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0,05$ ). Yleisen lineaarisen mallin selitysaste on 93,6 %. Mallin avulla selittämättä jäänyttä vaihtelua kuvaa jäännöstermi (*residual*). Jäännöstermin hajontakuvioiden (liite 5 kuva 1) ei ole mitään selkeää säännönmukaisuutta, histogrammi on yksihiippuinen ja melko symmetrinen sekä normaalijakaumakuvioiden muoto on suoran muotoinen. Näiden seikkojen vuoksi voidaan päätellä, että malli kuvaa akryyliamidipitoisuuden riippuvuutta suunnittelumuuttujista riittävästi hyvin. Tilasto-ohjelma ilmoittaa neljästä poikkeavasta havaintoarvosta. Jos yleinen lineaarinen malli sovitetaan ilman näitä poikkeavia arvoja, mallin tunnusluvut eivät muutu merkittävästi. Tämän vuoksi poikkeavia arvoja ei ole syytä poistaa mallista.

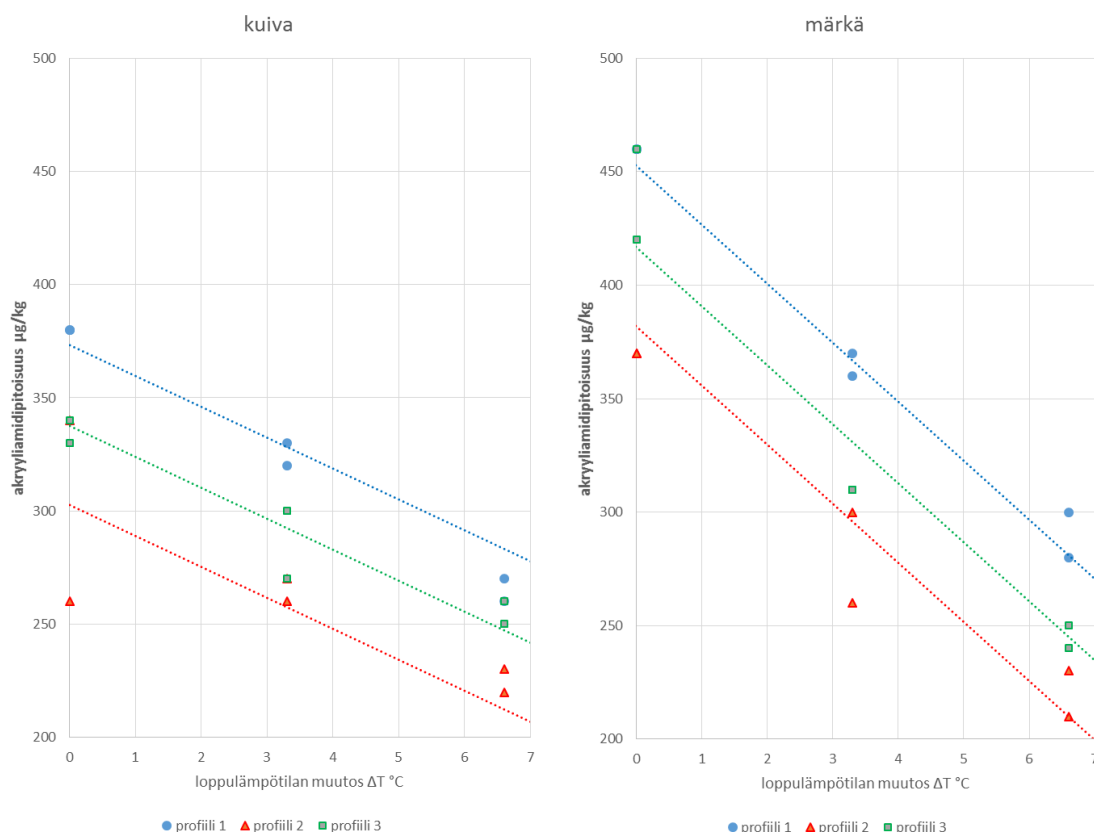
Kuvasta 13 huomataan selkeästi faktoreiden vaikutukset akryyliamidipitoisuuteen. Kuivalla kahvilla pitoisuuden keskiarvo on 293  $\mu\text{g/kg}$  ja märällä kahvilla 331  $\mu\text{g/kg}$ . Profiililla 1 paahdettujen kahvien akryyliamidipitoisuudet olivat suurimmat ( $\bar{x} = 348 \mu\text{g/kg}$ ) ja profiililla 2 paahdettujen kahvien olivat pienimmät ( $\bar{x} = 277 \mu\text{g/kg}$ ). Profiilin 3 kahvien akryyliamidipitoisuuksien keskiarvo 312  $\mu\text{g/kg}$  oli profiilien 1 ja 2 keskiarvojen välissä.





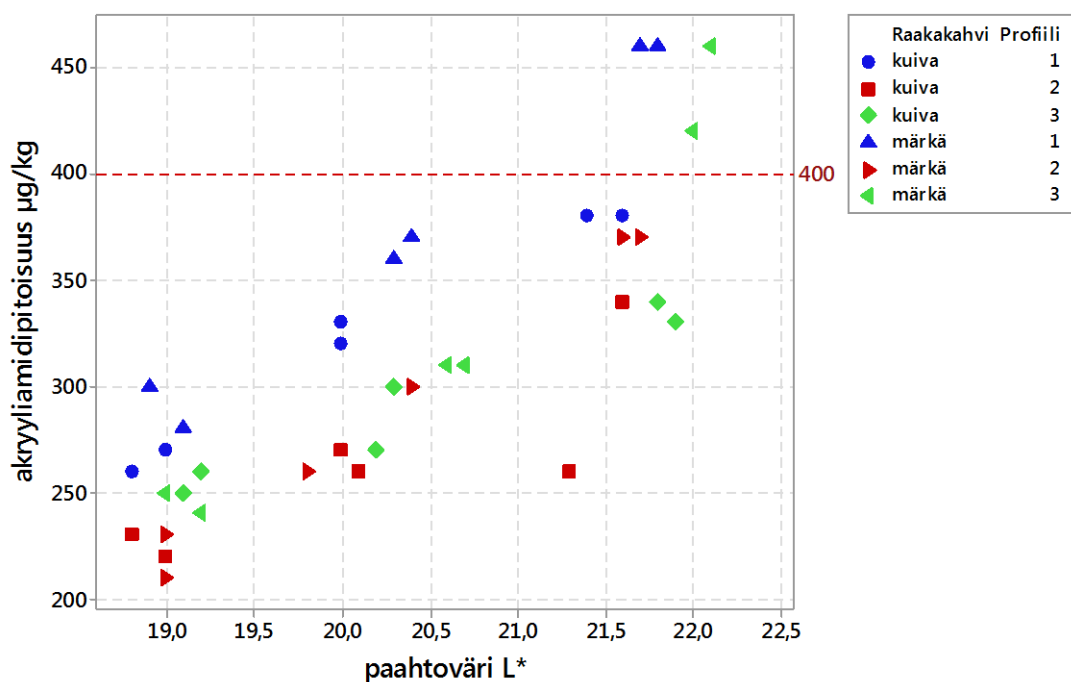
Kuva 13. Yleisen lineaarisen mallin faktoreiden (raakakahvi ja profiili) vaikutukset kahvin akryyliamidipitoisuuteen. Akryyliamidipitoisuuksien keskiarvot kuivassa ja märässä raakakahvissa sekä paahtoprofiileilla 1, 2 ja 3.

Yleisen lineaarisen mallin antamien regressioyhtälöiden perusteella voidaan piirtää kuvan 14 mukaiset suorat. Loppulämpötilan noustessa akryyliamidipitoisuus laskee. Parittainen yhteisvaikutus raakakahvi \*  $\Delta T$  näkyy suorissa siten, että märkien kahvien regressiosuorilla on itseisarvoltaan suuremmat kulmakertoimet. Loppulämpötilan muutoksella on siis suurempi akryyliamidipitoisuutta laskeva vaikutus märän raakakahvin tapauksessa verrattuna kuivaan raakakahviin.



Kuva 14. Kahvien akryyliamidipitoisuudet loppulämpötilan muutoksen funktiona ja yleisen lineaarisen mallin mukaisten regressiosuorien kuvaajat.

Kuvassa 15 on esitetty kahvien akryyliamidipitoisuudet paahtovärin funktiona ja kuvaan on merkitty EU:n akryyliamidipitoisuuden vertailuarvo 400  $\mu\text{g/kg}$ . EU:n vertailuarvon yläpuolella oli ainoastaan märän raakakahvin profiililla 1 ja 3 paahdetut kahvit, kun loppulämpötilan muutos oli 0 °C. Akryyliamidipitoisuus on mielekäästä esittää kuvaajassa paahtovärin funktiona, koska paahtoväri on tärkein paahdoissa kontrolloitava ja mitattava tekijä. Loppulämpötilan noustessa kahvin paahtoaste tummenee ja CIE-väriasteikolla ( $L^*$ ) ilmaistu paahtovärin lukuarvo pienenee.



Kuva 15. Kahvien akryyliamidipitoisuuksien ja paahtoväriin korrelaation kuvaaja. Loppulämpötilan muutoksen arvolla 0 °C mitatut pitoisuudet ovat kuvan oikeassa laidassa, muutoksen arvolla 3,3 °C mitatut pitoisuudet ovat keskellä ja arvolla 6,6 °C mitatut pitoisuudet kuvan vasemmassa laidassa.

Oy Gustav Paulig Ab:n aiemmassa julkaisemattomassa tutkimuksessa havaittiin kuivan raakakahvin sisältävän paahtojen jälkeen enemmän akryyliamidia kuin märän raakakahvin. Lantzin ym. (16) tutkimuksessa ei havaittu kahvin käsittelymenetelmällä olevan merkitystä muodostuvan akryyliamidin määrään, kun Arabica-kahveja paahtettiin noin 2 kg:n paahtoerissä. Myöskään Alvesin ym. (20) tutkimuksessa, jossa Arabica-laatuksia espressokahveja paahtettiin 12 kg:n eräkoon ammattimaisella paahtimella, ei havaittu eroa kuivan ja märän kahvin akryyliamidipitoisuuksissa. Yrityksen aiempi tutkimus tehtiin keväällä 2017, jolloin paahtokokeissa käytettiin eri satokauden papuja kuin tässä syksyllä 2017 tehdyssä työssä. Vaikka raakakahvin käsittelymenetelmä vaikutti tilastollisesti merkitsevästi akryyliamidipitoisuuteen, niin tämän työn perusteella ei voida tehdä yleistä johtopäätöstä siitä, että näin olisi myös jatkossa. Kahvin satokaudet, viljelymenetelmät ja alkuperämaat saattavat selittää eroja paahtetun kahvin akryyliamidipitoisuuksissa. Akryyliamidi muodostuu pääosin aminohappo asparagiinista, jonka määrän vaihtelu raakakahvissa vaikuttaa myös akryyliamidin erilaisiin pitoisuuksiin.

Yrityksen aiemmassa tutkimuksessa tutkittiin myös profiilien 1 ja 2 vaikutuksia akryyliamidipitoisuuksiin, ja tuolloin havaittiin profiililla 2 paahdettujen kahvien sisältävän vähemmän akryyliamidia. Tässä työssä saadut tulokset ovat siis yhteneviä yrityksen aieman tutkimuksen kanssa. Bagdonaiten ym. (18) tutkimuksessa, jossa selvitettiin laboratoriopaahtimella paahton vaikutusta eri kahvilaatujen akryyliamidipitoisuuteen, paahtoajan pidentäminen ja lämpötilan suurentaminen pienensivät akryyliamidin määrää. Bagdonaiten ym. (18) tutkimuksessa ei huomioitu kahvin paahtoväriä, koska tarkoituksena oli selvittää vain paahton lämpötilan ja paahtoajan vaikutukset akryyliamidipitoisuuteen. Tässä työssä käytetyt profiilit 1, 2 ja 3 olivat paahtoajoiltaan huomattavan erilaisia, koska eri profiileissa lämmönsyöttö paahtokulhoon toteutettiin eri tavoilla. Jokaisella profiililla kahvin paahtossa kuitenkin pyrittiin samaan tuotespesifikaation määräämään paahtoväriin. Profiilin 2 paahto aika oli noin 37 % pidempi kuin profiilin 1, ja profiililla 2 paahdettujen kahvien akryyliamidipitoisuudet olivat noin 23 % pienemmät kuin profiililla 1 paahdettujen kahvien. Profiilin 3 paahto aika oli noin 20 % pidempi kuin profiilin 1, ja profiililla 3 paahdettujen kahvien akryyliamidipitoisuudet olivat noin 10 % pienemmät kuin profiililla 1 paahdettujen kahvien. Tulokset viittaavat siihen, että muokattaessa paahtoprofiilia pidemmäksi paahtoväriin vaikuttamatta saadaan akryyliamidin pitoisuudet kahvissa pienemmään. Paahtoprosessin alussa muodostunut akryyliamidi ehtii poistua kahvipavuista pidemmän paahton aikana kemiallisten hajoamisreaktioiden kautta (kuva 8) ja lopputuotteeseen jää tällöin pienempi määrä akryyliamidia.

Paahton loppulämpötilan nostamisella ja samalla paahtoväriin tummentamisella oli odotettu vaikutus akryyliamidin määrään. Yrityksen aiemmassa julkaisemattomassa tutkimuksessa havaittiin samoin kuin tässä työssä, että akryyliamidin määrä vähenee paahtoväriin tummetessa. Samaan tulokseen ovat päätyneet kansainvälisetkin tutkimukset. EFSA:n (1) kaupallisesti saatavilla olevia paahdettuja kahveja koskevassa raportissa todetaan, että tummemmissa kahveissa on vähemmän akryyliamidia kuin keskipaahtoisessa, ja eniten akryyliamidia sisältävät vaaleapaahtoiset kahvit. Samaan tulokseen päätyivät Mojska ja Gielecinska (17), jotka tutkivat myös valmiita kahvijauheita. Lantzin ym. (16) märkäkäsittelylle Arabica-kahville tehdyssä paahtokokeessa (2 kg:n paahtoin) havaittiin myös akryyliamidipitoisuuden pienenevän kahvin paahtoasteen tummetessa.

## 5.6 Paahtokokeiden kolmitestit

Yrityksen aiemman tutkimuksen perusteella tiedettiin, että loppulämpötilan muutos 6,6 °C vaikuttaa kahvin flavoriin liikaa eli kolmitesteissä nämä kahvit ovat erotettavissa referenssistä merkitsevyystasolla  $\alpha = 0,05$ . Tämän vuoksi kolmitestit tehtiin ainoastaan kahveille, joiden loppulämpötilan muutokset olivat 0 °C ja 3,3 °C (taulukko 5).

Taulukko 5. Paahtokokeiden flavorin kolmitestien tulokset (N = 5–7) ja vertailtavien kahvien väriero L\*-asteikolla referenssiin.

Referenssi	Vertailtava kahvi	N	Oikeita vastauksia	p-arvo	Flavorin eron merkitsevyys	Väriero L*-asteikolla referenssiin
Kuiva, profiili 1, $\Delta T = 0\text{ °C}$	Kuiva, profiili 2, $\Delta T = 0\text{ °C}$	6	3	0,32	ei	-0,1
	Kuiva, profiili 3, $\Delta T = 0\text{ °C}$	6	2	0,65	ei	-0,4
	Kuiva, profiili 2, $\Delta T = 3,3\text{ °C}$	7	3	0,43	ei	-1,6
	Kuiva, profiili 3, $\Delta T = 3,3\text{ °C}$	7	3	0,43	ei	-1,3
Märkä, profiili 1, $\Delta T = 0\text{ °C}$	Märkä, profiili 2, $\Delta T = 0\text{ °C}$	5	1	0,87	ei	0
	Märkä, profiili 3, $\Delta T = 0\text{ °C}$	5	2	0,54	ei	+0,3
	Märkä, profiili 2, $\Delta T = 3,3\text{ °C}$	5	4	0,045	kyllä	-2,0
	Märkä, profiili 3, $\Delta T = 3,3\text{ °C}$	5	5	0,004	kyllä	-1,2

Arvioitsijoiden lukumäärä kolmitesteissä oli pieni (N = 5–7), mutta koska raatilaiset olivat harjaantuneita kahvinmaistajia, niin tuloksia voidaan pitää melko luotettavina. Tulosten mukaan paahtoprofiilin muuttamisella normaalista tuotantoprofiilista ei ole vaikutusta kahvin flavoriin valitulla riskitasolla, jos loppulämpötila pysyy samana. Kahvin flavorissa on aistein havaittava merkittävä ero referenssiin verrattuna ainoastaan silloin, kun märän kahvin profiilin muutoksen lisäksi nostetaan myös loppulämpötilaa 3,3 °C. Yrityksen aiemmassa tutkimuksessa raakakahvin laatu ei vaikuttanut erotustestien tuloksiin ja loppulämpötilan muutoksen ollessa 3,3 °C näytteet eivät eronneet referenssistä. Aiemman tutkimuksen tuloksia erotustestien osalta ei kuitenkaan voida verrata tähän työhön, koska arvioitsijaraadit olivat erilaiset (aiemmassa kuluttajaraati) ja raadin jäsenten lukumäärä oli eri.

Vertailtavan kahvin paahtoväriin ero referenssikahviin ei myöskään selitä kolmitestien tuloksia. Vertailtavat kuivat kahvit olivat 1,6 L\*-yksikköä ja 1,3 L\*-yksikköä CIE-asteikolla tummempia kuin referenssikahvi loppulämpötilan muutoksen ollessa 3,3 °C, eikä arvioitsijaraati havainnut näiden kahvien välillä eroa. Märällä kahvilla flavorin ero oli havaittavissa, kun vertailtavat kahvit olivat 2,0 ja 1,2 L\*-yksikköä tummempia kuin referenssi. Paahtokokeiden kolmitesteistä saatiin kuitenkin vahvistus sille, että profiilin muutos ei vaikuta merkittävästi kahvin flavoriin. Kolmitestien tulosten perusteella lopputuotteen koeajossa voitiin myös käyttää loppulämpötilaa, joka muuttaa kahvin paahtoväriä tuotespesifikaation tavoiterajoja tummemmaksi.

## 5.7 Paketoitu kahvijauhe

Profiililla 2 paahdettujen kahvien akryyliamidipitoisuudet olivat pienempiä kuin profiililla 3 paahdettujen kahvien. Profiilin 2 paahtoajat ovat kuitenkin noin 2 minuuttia eli noin 37 % pidempiä kuin profiilin 1, mikä on taloudellisista ja tuotannollisista lähtökohdista tarkasteltuna huomattavan pitkä aika. Kolmitesteissä profiilit 2 ja 3 antoivat samanlaiset tulokset. Koeajon lopputuotteeksi (eli paahdettu, jauhettu ja paketoitu kahvi) päätettiin näiden syiden vuoksi valita profiililla 3 paahdettu kahvi. EU:n vertailuarvo kahvin akryyliamidipitoisuudelle on 400 µg/kg (3). Koeajon kahvin loppulämpötilaksi valittiin sellainen arvo, jolla tämän työn määrän kahvin profiilin 3 akryyliamidipitoisuus on 350 µg/kg.

Yleisen lineaarisen mallin antaman regressiosuoran (liite 5 ja kuva 14) yhtälön mukaan laskettu määrän kahvin profiilin 3 loppulämpötilan muutos on 2,6 °C, kun akryyliamidipitoisuus on 350 µg/kg. Profiilin 3 koekahvi paahdettiin tällä loppulämpötilan muutoksen arvolla. Mittausten ja akryyliamidianalyysien tulokset ovat taulukossa 6.

Taulukko 6. Koeajon tulokset.

	<b>Paahtoprofiili</b>	<b>Tilavuus ml</b>	<b>Väri L*</b>	<b>Akryyliamidipitoisuus µg/kg</b>
<b>Kuivan kahvin paahtonäyte</b>	Referenssierä, profiili 1	170	21,3	390 ± 20
	Koe-erä, profiili 3	170	20,6	310 ± 20
<b>Märän kahvin paahtonäyte</b>	Referenssierä, profiili 1	174	21,4	410 ± 20
	Koe-erä, profiili 3	168	20,4	310 ± 20
<b>Lopputuote eli paketoitu kahvijauhe</b>	Referenssikahvi, profiili 1		19,7	420 ± 20
	Koekahvi, profiili 3		18,8	330 ± 20

Referenssin ja koekahvin tilavuuksissa ei ollut sellaista merkittävää eroa, mikä vaikuttaisi paketin ulkonäköön tai vaikeuttaisi kahvijauheen pakkaamista. Koekahvi oli väriltään noin yhden yksikön L\*-asteikolla tummempaa kuin referenssikahvi. Kuivan kahvin profiililla 1 paahdetussa erässä oli vähemmän akryyliamidia kuin märän kahvin profiililla 1 paahdetussa erässä, mikä noudattaa paahtokokeissa havaittua mallia. Profiililla 3 paahdetuissa erissä akryyliamidipitoisuuksissa ei ollut eroa kuivan ja märän kahvin välillä. Paahtoprofiilien välisiä eroja verrattaessa taulukosta 6 havaitaan, että profiililla 3 paahdetuissa kahveissa oli vähemmän akryyliamidia kuin profiililla 1 paahdetuissa, ja tämä tulos noudattaa paahtokokeista saatua mallia. Profiililla 3 paahdetun lopputuotteen eli pakettikahvin akryyliamidipitoisuus oli 330 µg/kg.

Pakettikahveille tehdyssä kolmitestissä talonsisäinen kuluttajaraati ei havainnut merkittävää eroa referenssi- ja koekahvin välillä. Kuluttajaraadissa arvioitsijoiden lukumäärä oli 30 ja testissä oli oikeita vastauksia 11 kappaletta, jolloin kolmitestin  $p$ -arvoksi saatiin  $p = 0,42$ . Yrityksen ammattilaisraati ( $N = 5$ ) teki myös pakettikahvien erotustestin eikä näytteiden välillä ollut silloinkaan aistein havaittavaa eroa merkitsevyystasolla  $\alpha = 0,05$ , koska oikeita vastauksia oli ainoastaan yksi.

## 6 Yhteenveto

Tässä insinöörityössä pyrittiin validoimaan Oy Gustav Paulig Ab:n aiemman julkaisemattoman tutkimuksen ennustemalli, jonka mukaan paahtoajaltaan pidemmäksi muokattu paahtoprofiili pienentää kahvin akryyliamidipitoisuuksia. Työssä saatiin vahvistus tälle mallille. Ennustemallin mukaan paahdon loppulämpötilan kasvattaminen pienentää myös akryyliamidin määrää ja tämäkin seikka saatiin vahvistettua työssä. Kuivakäsittelymenetelmällä käsitellyssä raakakahvissa syntyi tämän työn mukaan vähemmän akryyliamidia paahdon aikana kuin märkähäksitellyssä kahvissa. Tämä tulos raakakahvin laadun vaikutuksesta akryyliamidipitoisuuteen ei ole yhtenevä aiempien tutkimusten kanssa. Yrityksen aiemman tutkimuksen tilastollista mallia akryyliamidipitoisuuden ennustettavuudesta ei pystytty tässä työssä vahvistamaan, koska kahvilaadun vaikutukset pitoisuuteen eivät olleet yhteneviä ja akryyliamidin pitoisuudet olivat eri suuruusluokkaa töiden välillä.

Työn tavoitteena oli löytää vaaleapaahtoaiselle kahville sellaiset paahtoparametrit, että kahvin akryyliamidipitoisuus olisi EU:n vertailuarvon 400 µg/kg alapuolella. Työssä tehtiin yksi koe-erä vaaleapaahtoista pakettikahvia uudella paahtoprofiililla (profiili 3) ja 2,6 °C normaalilämpötilaa korkeammalla paahdon loppulämpötilalla. Normaalilämpötilalla tarkoitetaan tässä paahdon loppulämpötilaa, jolla kahvin paahtoväri on nykyisen tuotespesifikaation määräämällä tavoitealueella. Tämän koekahvierän akryyliamidipitoisuus oli EU:n vertailuarvon 400 µg/kg alapuolella. Kahvista tuli noin yhden yksikön L\*-asteikolla tummempaa kuin nykyinen vaaleapaahtoinen tuotantokahvi, kun se paahdettiin profiililla 3 ja korkeammalla loppulämpötilalla. Näin ollen kahvi oli väriltään liian tummaa arvioitaessa sitä nykyisen tuotespesifikaation määräämillä paahtoväri raja-arvoilla.

Paahtoprofiilin 3 ja 2,6 °C korkeamman paahdon loppulämpötilan käyttäminen vaaleapaahtoaisille kahveille nykyisen tuotantopaahtoprofiilin sijaan tarkoittaisi, että vaaleapaahtoisten kahvien paahto aika pitenisi noin 23 % jokaisessa paahtoerässä. Tämä aiheuttaisi huomattavia muutoksia paahtokoneiden ja yrityksen muiden laitteistojen käytettävyydessä. Uudet paahtoparametrit eivät vaikuttaneet tämän työn mukaan koe-erän kahvijauheen pakkautuvuuteen. Huomioitavaa on, että tässä työssä paahdettiin uusilla parametreilla vain yksi tuotantoerä valmista lopputuotetta vaaleapaahtoista kahvia. Näin ollen pitkän aikavälin muutokset kahvien kaasuuntumisaikoihin ja tilavuuksiin ovat vielä ennalta arvaamattomia, minkä vuoksi on tehtävä lisätutkimuksia paahtoparametrien



muutosten vaikutuksista kahvien fysikaalisiin ominaisuuksiin eri vuodenaikoina ja kahvin eri satokausina.

Talonsisäinen kuluttajaraati ja ammattilaisraati eivät havainneet uusilla parametreilla paahdetun kahvin flavorissa merkittävää eroa verrattuna tuotantopaahtoprofiililla paahdettuun kahviin, ja näin saavutettiin myös työssä asetettu tavoite. Työssä tehtiin aistinvarainen kuluttajatesti vain yhdelle vaaleapaahtoisen kahvin koe-erälle, joten aistinvaraisia kokeita pitää jatkaa useammalla koe-erällä. Oy Gustav Paulig Ab käyttää kahviensa makuprofiileissa viisiportaista asteikkoa ja ilmoittaa erikseen kahvien täyteläisyyden, hapokkuuden ja aromikkuuden (28). Kahvin flavoriin vaikuttavat pienetkin muutokset paahdossa, ja työssä tehdyt muutokset voivat muuttaa täyteläisyyttä, hapokkuutta, aromikkuutta tai muita makuvivahteita. Uusilla parametreilla paahdetuille vaaleapaahtoosille kahveille pitää luoda uudelleen niiden makuprofiili yrityksen ammattimaistajien toimesta.

On tärkeää jatkaa tutkimusta siitä, miten paahtoprofiilin muuttaminen vaikuttaa kahvin akryyliamidipitoisuuteen. Työssä käytettyä profiilia 3 voisi muokata ajallisesti vielä lyhyemmäksi, jolloin taloudelliset ja tuotannolliset vaikutukset saataisiin minimoitua. Kaikki työn paahtokokeet tehtiin samalla paahtokoneella, joten työssä saadun tilastollisen mallin toimivuus pitäisi todentaa myös yrityksen muilla paahtimilla. Tärkeimpänä lisätutkimuksen aiheena voidaan pitää raakakahvin laadun ja satokausien vaihteluiden vaikutusta kahvin akryyliamidipitoisuuksiin, koska tämän insinöörityön ja aiempien tutkimusten välillä on ristiriitaisuuksia raakakahvin käsittelymenetelmien vaikutuksesta paahdetun kahvin akryyliamidin määrään.


## Lähteet

- 1 European Food Safety Authority. 2015. Scientific Opinion on acrylamide in food EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Efsa Journal 13(6):4104.
- 2 Stadler, Richard H & Theurillat, Viviane. 2012. Acrylamide in Coffee. Teoksessa Chu, Yi-Fang (ed.). Coffee Emerging Health Effects and Disease Prevention. Malaysia: John Wiley & Sons, Inc.
- 3 KOMISSION ASETUS (EU) 2017/2158 C, annettu 20 päivänä marraskuuta 2017, toimenpiteistä elintarvikkeiden akryyliamidipitoisuuden vähentämiseksi ja vertailuarvojen vahvistamiseksi (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti). Euroopan unionin virallinen lehti. 21.11.2017.
- 4 Smith, A.W. 1985. Introduction. Teoksessa Clarke, R.J. & Macrae, R. (ed.). Coffee Volume 1: Chemistry. London and New York: Elsevier applied science.
- 5 Hoffmann, James. 2014. The world atlas of coffee: from beans to brewing – coffees explored, explained and enjoyed. Fyrefly Books Ltd: China.
- 6 Coffee - Glossary. Verkkoaineisto. Yara Fertilisers India Pvt. Ltd. <<http://www.yara.in/crop-nutrition/crops/coffee/key-facts/glossary/>>. Luettu 8.11.2017.
- 7 Vincent, J-C. 1987. Green Coffee Processing. Teoksessa Clarke, R.J. & Macrae, R. (ed.). Coffee Volume 2 Technology. London and New York: Elsevier applied science.
- 8 Probat - Werke. 2015. Käyttöohje Sentrifugaalinen paahdin. Emmerich am Rhein.
- 9 Ruosi, Manuela R.; Cordero, Chiara; Cagliero, Cecilia; Rubiolo, Patrizia; Bicchi, Carlo; Sgorbini, Barbara & Liberto, Erica. 2012. A Further Tool To Monitor the Coffee Roasting Process: Aroma Composition and Chemical Indices. J. Agric. Food Chem. 60: 11283–11291.
- 10 Clarke, R.J. 1987. Roasting and Grinding. Teoksessa Clarke, R.J. & Macrae, R. (ed.). Coffee Volume 2 Technology. London and New York: Elsevier applied science.
- 11 Eggers, R. & Pietsch, A. 2001. Technology I: Roasting. Teoksessa Clarke, R.J. & Vitzthum, O.G. (ed.). Coffee Recent Developments. Bodmin: Blackwell Science.
- 12 Sunarharum, Wenny B; Williams, David J & Smyth, Heather E. 2014. Complexity on coffee flavor: A compositional and sensory perspective. Food Research International 62: 315–325.

- 13 Tuorila, Hely; Parkkinen, Kirsti & Tolonen, Katri. 2008. Aistit ammattikäyttöön. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.
- 14 Dart, S.K. & Nursten, H.E. 1985. Volatile Components. Teoksessa Clarke, R.J. & Macrae, R. (ed.). Coffee Volume 1: Chemistry. London and New York: Elsevier applied science.
- 15 Brunning, Andy. 2015. The Chemical Compounds Behind the Aroma of Coffee. Compound Interest. Verkkoaineisto. <<http://www.compound-chem.com/2015/02/17/coffee-aroma/>>. Luettu 13.11.2017.
- 16 Lantz, Ingo; Ternite, Ruediger; Wilkens, Jochen; Hoanicke, Katrin; Guenther, Helmut & van der Stegen, Gerrit H.D. 2006. Studies on acrylamide levels in roasting, storage and brewing of coffee. Mol. Nutr. Food Res. Vol. 50, 1039–1046.
- 17 Mojska, Hanna & Gielecinska, Iwona. 2013. Studies on acrylamide level in coffee substitutes: influence on raw material and manufacturing conditions. Rocz Panstw Zakl Hig 64(3): 173–181.
- 18 Bagdonaite, Kristina; Derler, Karin & Murkovic, Michael. 2008. Determination of Acrylamide during Roasting of Coffee. J. Agric. Food Chem. 50, 6081–6086.
- 19 Guenther, Helmut; Anklam, Elke; Wenzl, Thomas & Stadler, Richard H. 2007. Acrylamide in coffee: Review of progress in analysis, formation and level reduction. Food Additives and Contaminants, Supplement 1, 24(S1): 60–70.
- 20 Alves, Rita C.; Soares, C.; Casal, Susana; Fernandes, J.O.; Beatriz, M. & Oliveira, P.P. 2010. Acrylamide in espresso coffee: Influence of species, roast degree and brew length. Food Chemistry 119: 929–934.
- 21 Anese, Monica; Nicoli, Maria Cristina; Verardo, Giancarlo; Munari, Marina; Mirolo, Giorgio & Bortolomeazzi, Renzo. 2013. Effect of vacuum roasting on acrylamide formation and reduction in coffee beans. Food Chemistry 145: 168–172.
- 22 Stadler, Richard H. 2005. Acrylamide: Formation in Different Foods and Potential Strategies for Reduction. Teoksessa Friedman, Mendel & Mottram, Don (ed.), Chemistry and Safety of Acrylamide in Food. Springer: USA.
- 23 Andrzejewski, Denis; Roach, John A. G.; Gay, Martha L.; Musser, Steven M. 2004. Analysis of Coffee for the Presence of Acrylamide by LC-MS/MS. J. Agric. Food Chem. 52, 1996–2002.
- 24 Anese, Monica. 2016. Acrylamide in Coffee and Coffee Substitutes. Teoksessa Gökmen, Vural (ed.) Acrylamide in Food analysis, content and potential health effects. USA: Elsevier Inc.

- 25 FoodDrinkEurope. 2017. Acrylamide Toolbox 2017. Annex 1 to FCP/AATEC/049/17E-Draft.
- 26 Hunterlab. 2008. Insight in color. Application note. Vol. 8, No. 7.
- 27 ISO 4120. 2004. Sensory analysis – Methodology – Triangle test. Switzerland: ISO.
- 28 Miltä kahvisi maistuu?. 2017. Verkkoaineisto. Oy Gustav Paulig Ab. <<https://www.paulig.fi/makuprofiili>>. Luettu 30.11.2017.

## Kolmitestin vastauslomake EyeQuestion-ohjelmassa



Skip question

Preview Session

Ikkuna 2/3

Ohjeet

- Maista **Testin 2** näytteet vasemmalta oikealle
- Voit joko nielaista tai sylkeä näytteet
- Kaksi näytettä ovat keskenään samanlaisia ja yksi on poikkeava
- Tunnista poikkeava näyte
- Jos et tunnista eroa, arvaa mikä näyte on poikkeava

Valitse **POIKKEAVA / ERILAINEN** näyte.

932	896	752
-----	-----	-----

Voit kommentoida valintojasi tai näytteiden ominaisuuksia, lisää kommenttisi näytekoodeittain alla oleviin kenttiin.

**932**

**896**

**752**

Seuraava

## Paahtokokeiden tulokset

tunnistekoodi	raakakahvi	$\Delta T$ °C	paahto profiili	loppulämpö- tila °C	paahto- aika s	väri	tilavuus ml	kosteus %	akryyliamidi pitoisuus µg/kg
K-P1-0-erä1	kuiva	0	1	213	360	21,6	174	3,71	380
K-P1-0-erä2	kuiva	0	1	213	362	21,4	174	4,19	380
K-P2-0-erä1	kuiva	0	2	210,5	482	21,3	166	3,58	260
K-P2-0-erä2	kuiva	0	2	210,5	475	21,6	166	4,15	340
K-P3-0-erä1	kuiva	0	3	211,1	419	21,8	170	4,22	340
K-P3-0-erä2	kuiva	0	3	211,1	424	21,9	170	4	330
K-P1-3,3-erä1	kuiva	3,3	1	216,3	368	20	178	4,4	320
K-P1-3,3-erä2	kuiva	3,3	1	216,3	376	20	180	4,46	330
K-P2-3,3-erä1	kuiva	3,3	2	213,8	516	20,1	172	3,82	260
K-P2-3,3-erä2	kuiva	3,3	2	213,8	506	20	168	3,77	270
K-P3-3,3-erä1	kuiva	3,3	3	214,4	443	20,2	172	4,09	270
K-P3-3,3-erä2	kuiva	3,3	3	214,4	447	20,3	172	3,94	300
K-P1-6,6-erä1	kuiva	6,6	1	219,6	383	18,8	184	4	260
K-P1-6,6-erä2	kuiva	6,6	1	219,6	389	19	184	4,15	270
K-P2-6,6-erä1	kuiva	6,6	2	217,1	540	18,8	178	3,69	230
K-P2-6,6-erä2	kuiva	6,6	2	217,1	532	19	176	3,65	220
K-P3-6,6-erä1	kuiva	6,6	3	217,7	460	19,1	178	3,93	250
K-P3-6,6-erä2	kuiva	6,6	3	217,7	473	19,2	178	3,61	260
M-P1-0-erä1	märkä	0	1	211,1	316	21,8	170	4,39	460
M-P1-0-erä2	märkä	0	1	211,1	344	21,7	172	4,13	460
M-P2-0-erä1	märkä	0	2	206,5	469	21,7	160	4,4	370
M-P2-0-erä2	märkä	0	2	206,5	461	21,6	158	4,49	370
M-P3-0-erä1	märkä	0	3	207,6	405	22	162	4,73	420
M-P3-0-erä2	märkä	0	3	207,6	407	22,1	160	4,63	460
M-P1-3,3-erä1	märkä	3,3	1	214,4	328	20,4	174	4,38	370
M-P1-3,3-erä2	märkä	3,3	1	214,4	351	20,3	172	4,19	360
M-P2-3,3-erä1	märkä	3,3	2	209,8	521	19,8	164	4,03	260
M-P2-3,3-erä2	märkä	3,3	2	209,8	486	20,4	162	4,49	300
M-P3-3,3-erä1	märkä	3,3	3	210,9	431	20,6	162	4,6	310
M-P3-3,3-erä2	märkä	3,3	3	210,9	434	20,7	168	4,46	310
M-P1-6,6-erä1	märkä	6,6	1	217,7	346	19,1	178	4,18	280
M-P1-6,6-erä2	märkä	6,6	1	217,7	362	18,9	180	4,21	300
M-P2-6,6-erä1	märkä	6,6	2	213,1	541	19	168	4,15	210
M-P2-6,6-erä2	märkä	6,6	2	213,1	520	19	168	4,38	230
M-P3-6,6-erä1	märkä	6,6	3	214,2	463	19	168	4,23	250
M-P3-6,6-erä2	märkä	6,6	3	214,2	466	19,2	170	4,36	240

## Yleinen lineaarinen malli, vasteena paahtoväri

General Linear Model: Paahtoväri versus ΔT; Raakakahvi; Profiili

### Method

Factor coding (-1; 0; +1)

### Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Raakakahvi	Fixed	2	kuiva; märkä
Profiili	Fixed	3	1; 2; 3

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
ΔT	1	4,7262	4,72615	236,75	0,000
Raakakahvi	1	0,2844	0,28444	14,25	0,001
Profiili	2	0,6817	0,34083	17,07	0,000
ΔT*ΔT	1	0,1250	0,12500	6,26	0,018
Error	30	0,5989	0,01996		
Lack-of-Fit	12	0,2289	0,01907	0,93	0,541
Pure Error	18	0,3700	0,02056		
Total	35	45,4300			

### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,141290	98,68%	98,46%	98,10%

### Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	21,7083	0,0408	532,24	0,000	
ΔT	-0,4848	0,0315	-15,39	0,000	13,00
Raakakahvi					
kuiva	-0,0889	0,0235	-3,77	0,001	1,00
Profiili					
1	-0,0667	0,0333	-2,00	0,054	1,33
2	-0,1250	0,0333	-3,75	0,001	1,33
ΔT*ΔT	0,01148	0,00459	2,50	0,018	13,00

### Regression Equation

Raakakahvi	Profiili	
kuiva	1	Paahtoväri = 21,5528 - 0,4848 ΔT + 0,01148 ΔT*ΔT
kuiva	2	Paahtoväri = 21,4944 - 0,4848 ΔT + 0,01148 ΔT*ΔT
kuiva	3	Paahtoväri = 21,8111 - 0,4848 ΔT + 0,01148 ΔT*ΔT
märkä	1	Paahtoväri = 21,7306 - 0,4848 ΔT + 0,01148 ΔT*ΔT
märkä	2	Paahtoväri = 21,6722 - 0,4848 ΔT + 0,01148 ΔT*ΔT
märkä	3	Paahtoväri = 21,9889 - 0,4848 ΔT + 0,01148 ΔT*ΔT

### Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Paahtoväri	Fit	Resid	Std Resid	
27	19,8000	20,1972	-0,3972	-3,08	R
35	19,0000	19,2889	-0,2889	-2,24	R

R Large residual

## Yleinen lineaarinen malli, vasteena tilavuus

### General Linear Model: Tilavuus versus $\Delta T$ ; Raakakahvi; Profiili

Method

Factor coding (-1; 0; +1)

#### Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Raakakahvi	Fixed	2	kuiva; märkä
Profiili	Fixed	3	1; 2; 3

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
$\Delta T$	1	486,00	486,000	169,49	0,000
Raakakahvi	1	427,11	427,111	148,96	0,000
Profiili	2	602,00	301,000	104,97	0,000
Error	31	88,89	2,867		
Lack-of-Fit	13	44,89	3,453	1,41	0,244
Pure Error	18	44,00	2,444		
Total	35	1604,00			

#### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1,69334	94,46%	93,74%	92,58%

#### Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	166,500	0,446	373,12	0,000	
$\Delta T$	1,364	0,105	13,02	0,000	1,00
Raakakahvi					
kuiva	3,444	0,282	12,20	0,000	1,00
Profiili					
1	5,667	0,399	14,20	0,000	1,33
2	-3,833	0,399	-9,60	0,000	1,33

#### Regression Equation

Raakakahvi	Profiili	
kuiva	1	Tilavuus = 175,611 + 1,364 $\Delta T$
kuiva	2	Tilavuus = 166,111 + 1,364 $\Delta T$
kuiva	3	Tilavuus = 168,111 + 1,364 $\Delta T$
märkä	1	Tilavuus = 168,722 + 1,364 $\Delta T$
märkä	2	Tilavuus = 159,222 + 1,364 $\Delta T$
märkä	3	Tilavuus = 161,222 + 1,364 $\Delta T$

#### Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Tilavuus	Fit	Resid	Std Resid	
20	172,000	168,722	3,278	2,10	R
29	162,000	165,722	-3,722	-2,33	R

R Large residual



## Yleinen lineaarinen malli, vasteena akryyliamidipitoisuus

General Linear Model: AA-pitoisuus versus  $\Delta T$ ; Raakakahvi; Profiili

Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Raakakahvi	Fixed	2	kuiiva; märkä
Profiili	Fixed	3	1; 2; 3

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Raakakahvi	1	22562	22562	63,11	0,000
$\Delta T$	1	102704	102704	287,28	0,000
Profiili	2	30106	15053	42,11	0,000
$\Delta T$ *Raakakahvi	1	10004	10004	27,98	0,000
Error	30	10725	358		
Lack-of-Fit	12	4675	390	1,16	0,377
Pure Error	18	6050	336		
Total	35	166764			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
18,9077	93,57%	92,50%	90,59%

Coefficients

Term	Coef	SE	Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	377,36	4,98		75,74	0,000	
Raakakahvi						
kuiiva	-39,58	4,98		-7,94	0,000	2,50
$\Delta T$	-19,82	1,17		-16,95	0,000	1,00
Profiili						
1	35,56	4,46		7,98	0,000	1,33
2	-35,28	4,46		-7,92	0,000	1,33
$\Delta T$ *Raakakahvi						
kuiiva	6,19	1,17		5,29	0,000	2,50

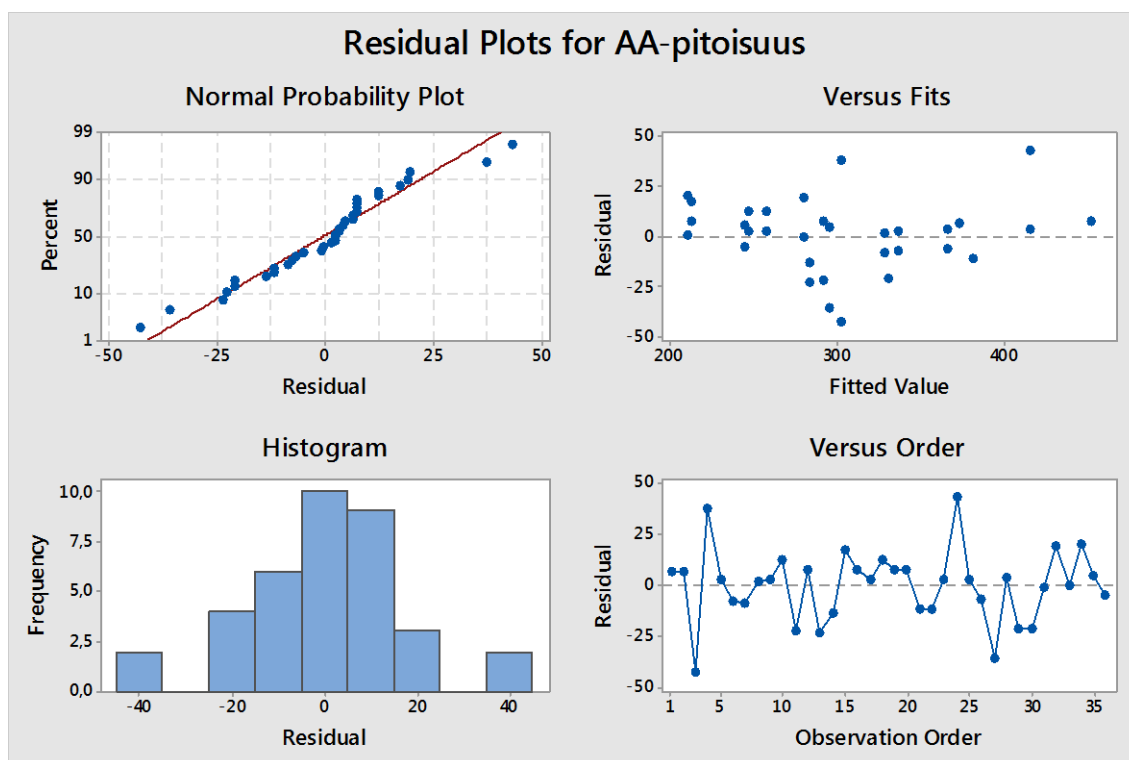
Regression Equation

Raakakahvi	Profiili	
kuiiva	1	AA-pitoisuus = 373,33 - 13,64 $\Delta T$
kuiiva	2	AA-pitoisuus = 302,50 - 13,64 $\Delta T$
kuiiva	3	AA-pitoisuus = 337,50 - 13,64 $\Delta T$
märkä	1	AA-pitoisuus = 452,50 - 26,01 $\Delta T$
märkä	2	AA-pitoisuus = 381,67 - 26,01 $\Delta T$
märkä	3	AA-pitoisuus = 416,67 - 26,01 $\Delta T$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	AA-pitoisuus	Fit	Resid	Std Resid	
3	260,00	302,50	-42,50	-2,50	R
4	340,00	302,50	37,50	2,21	R
24	460,00	416,67	43,33	2,55	R
27	260,00	295,83	-35,83	-2,01	R

R Large residual



Kuva 1. Jäännöstermin kuvaajat, vasteena akryyliamidipitoisuus.